



**VITOR MIGUEL                      INTEGRAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA-SOLAR  
FRANGO DE GOUVEIA    TÉRMICA NA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE**

**DOCUMENTO  
DEFINITIVO**





**VITOR MIGUEL                      INTEGRAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA-SOLAR**  
**FRANGO DE GOUVEIA      TÉRMICA NA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Dr. Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

---

Dedico este trabalho à minha família e amigos que sempre me apoiaram nos bons e nos maus momentos e sempre me proporcionaram condições para que obtivesse sucesso também neste trabalho, principalmente aos meus pais, irmãos e namorada.



## O júri

Presidente

**Prof. Vítor Costa (DEM-UA)**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

**Prof. Joaquim Borges Gouveia (DEGEI-UA)**

Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Orientador

**Prof. Dr. Nelson Amadeu Dias Martins**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

---

## **Agradecimentos**

Pretendo expressar os meus agradecimentos ao Prof. Doutor Nelson Martins pelo seu apoio e disponibilidade sempre que solicitado, e aos meus pais e namorada pelas condições favoráveis que me criaram a realizar este projecto e pelo apoio que me deram.

## Palavras-chave

Energia, energia renovável, aerogerador, turbina eólica, colector solar, reservatório térmico, sistema híbrido, águas sanitárias, aquecimento de água, ambiente, gases de efeito estufa.

## Resumo

A evolução do mundo está cada vez mais dependente da energia, possuindo esta um papel fundamental no desenvolvimento dos países. No entanto o consumo de energia crescente implica uma crescente produção de energia, o que na realidade actual já começa a ser um grande problema devido à grande dependência da produção de energia através de fontes não renováveis, nomeadamente o petróleo. Por um lado a situação agrava-se devido à prevista escassez do petróleo e constante instabilidade no seu preço, por outro lado põe-se o problema ambiental, que cada vez mais está a ganhar força na luta pela procura de alternativas a fontes de energia que emitam gases de efeito estufa, nomeadamente o petróleo e outras fontes que poluam de alguma forma o ambiente.

Da procura por alternativas surgem as energias renováveis como alternativas com grande potencial e amigas do ambiente.

Este trabalho procura explorar a utilização de energias renováveis através de um conceito diferente ao qual estamos habituados, que é a produção em massa centralizada. O objectivo é produzir energia localmente através da energia solar térmica e energia eólica, dando grande relevância ao sector doméstico e edifícios. Como seria muito difícil financeira e tecnicamente conseguir que a grande maioria dos edifícios fosse totalmente autónomo em termos energéticos, a melhor solução é procurar o maior ou um dos maiores consumidores energéticos nas habitações e edifícios. Após pesquisa foi determinada como a maior fonte de consumo energético em habitações o aquecimento, nomeadamente de águas sanitárias e ambiente, pelo que esta será a vertente a explorar através deste trabalho.

Para o fim de tirar partido da energia eólica e da energia solar térmica de forma distribuída para o aquecimento de água, foi neste trabalho projectado um sistema híbrido solar-eólico.

O sistema funciona de maneira muito simples, aproveitando a radiação solar para aquecer água num determinado reservatório como outro qualquer sistema de aquecimento solar, mas por outro lado conta com o auxílio de uma turbina eólica que produz energia eléctrica, que não necessita de controlo de tensão nem de frequência, tornando-a mais barata e simples, visto que a energia eléctrica será dissipada numa resistência no interior do reservatório térmico de forma a aquecer o mesmo. Através deste sistema consegue-se compensar de certa forma as altura em que houver fraca disponibilidade de um dos recursos, recorrendo ao outro se estiver disponível. Por exemplo de verão existe mais radiação solar e de Inverno existe maior disponibilidade do vento.

Finalmente foi desenvolvido um software de apoio ao dimensionamento dos três principais componentes do sistema, nomeadamente a turbina eólica, o colector solar e o reservatório térmico de forma optimizada, e que permite também fazer uma análise de viabilidade económica ao sistema.

---

## Keywords

Energy, renewable energy, wind turbine, solar collector, thermal reservoir, hibrid system, sanitary waters, water heating, environment, greenhouse effect gases.

## Abstract

The progress is putting the world more and more dependent from energy, giving her a fundamental paper in the development of the countries. However the constant growing energy consumption implies a constant growing of the energy production, that in nowadays begins to be a serious problem, because the dependency of the energy production with non renewable sources, principally the oil. By one side the situation is aggravated because the foreseen scarcity of the oil and his constant instability of price, and by other side there is the environmental problem that is wining strength in the search for alternatives to the energy sources that emit gases with greenhouse effect, like the oil and other sources of energy that pollute the environment by anyway.

In the search for alternatives appear the renewable energy sources as alternative with great potential and environmental friend.

These work intents to explore the utilization of renewable energies through a different concept that is utilized nowadays of centralized mass production. The objective is to produce energy locally through thermal solar energy and eolic energy, giving particular relevance do the domestic houses and buildings. As we know it would be technically and financer difficult to obtain the total energy autonomy from the buildings, so the best solution is search the biggest energy consumer in the domestic houses and service buildings. After research it was determined that the biggest energy consumer of the buildings and domestic houses were the heating of water and environment, so this would be the way to explore with these work.

With the purpose to take part of the eolic and thermal solar energy in distributed way to heating water, it was projected in this work a solar-eolic hibrid system.

The system works in a very simple way, taking part of the solar radiation to heat water in a thermal reservoir as other solar heating system, but in other way it counts with assistance of an eolic turbine producing electrical energy, that don't needs to have tension or frequency control, turning it more simple and less expensive, because the electrical energy will be dissipated in a electrical resistance to heat the thermal reservoir. With this system is possible to compensate the instability of one or other of the sources of energy. For example in the summer there is more solar radiation and in the winter there is typically more availability of wind.

Finally was developed a software to support the sizing the three principal components of the system, that is the eolic turbine, the solar collector and the thermal reservoir by an optimized way. The software also permits to make an analysis of economical viability.



## Índice:

1.	Introdução .....	3
2.	Objectivos .....	3
3.	Energia Eólica .....	4
3.1.	Turbina Eólica .....	6
3.1.1.	Análise do Vento .....	7
3.1.2.	Componentes da Turbina .....	9
3.1.2.1.	Rotor .....	9
a.	Rotor de Eixo horizontal .....	9
b.	Rotor de Eixo Vertical .....	11
c.	Aspectos Construtivos .....	15
3.1.2.2.	Sistemas de Controlo para Limitação de Potência .....	15
3.1.2.3.	Transmissão .....	16
3.1.2.4.	Geradores .....	17
a.	Geradores de Corrente Continua .....	17
b.	Geradores Síncronos .....	18
c.	Geradores Assíncronos ou de Indução .....	18
3.1.2.5.	Torre .....	19
3.2.	Impacto Ambiental .....	19
a.	Utilização do terreno .....	19
b.	Emissão de ruído .....	21
c.	Vibração e Ruído de Baixa Frequência .....	22
d.	Impacto visual .....	23
e.	Balanço Energético .....	24
f.	Aves .....	24
g.	Interferências electromagnéticas .....	24
h.	Segurança .....	24
3.3.	Soluções de Mercado .....	25
3.4.	Soluções em Desenvolvimento .....	25
4.	Energia Solar Térmica .....	26
4.1.	Colector Solar Térmico .....	26
4.1.1.	Colectores Planos .....	27
4.1.2.	Colectores Concentradores .....	28
4.1.3.	CPC ou Colectores Concentradores Parabólicos .....	30
4.1.4.	Colectores de Tubos de Vácuo .....	31
4.2.	Sistema de Aquecimento Solar de Água .....	33
4.3.	Integração em Edifícios .....	36
5.	Políticas Energéticas .....	36
6.	Armazenamento de Energia .....	37
6.1.	Sistema de armazenamento térmico de energia .....	38
7.	Projectar um Sistema Híbrido de Aquecimento de Água .....	39
7.1.	Cálculos de dimensionamento do armazenamento de energia .....	40
7.1.1.	Exemplo de cálculo de armazenamento de energia .....	41
7.2.	Cálculo da energia necessária para aquecer o volume de água de consumo .....	41
7.2.1.	Exemplo de cálculo da energia necessária para aquecer o volume de água de consumo .....	42
7.3.	Aquecimento Ambiente .....	43
7.3.1.	Volume necessário de reservatório de água para armazenar energia de aquecimento ambiente .....	43
7.4.	Energia média diária total necessária .....	43
7.5.	Dimensionamento e selecção da turbina eólica .....	44

7.5.1.	Seleção do tipo de turbina eólica.....	44
7.5.2.	Cálculo da velocidade média do vento na altura pretendida.....	45
7.5.2.1.	Exemplo de cálculo da velocidade do vento na altura pretendida.....	46
7.5.3.	Cálculo da potência necessária da turbina.....	46
7.5.3.1.	Exemplo de cálculo da potência necessária da turbina.....	47
7.6.	Dimensionamento do colector solar.....	48
7.6.1.	Exemplo de dimensionamento de um colector solar.....	49
7.7.	Dimensionamento da resistência auxiliar.....	50
7.7.1.	Exemplo de dimensionamento da resistência auxiliar.....	50
7.8.	Definir o funcionamento do ECU.....	51
7.8.1.	Controlo da bomba de circulação.....	51
7.8.2.	Controlo das resistências de aquecimento.....	51
8.	Análise Financeira.....	52
8.1.	Investimento.....	52
8.2.	Ganhos Anuais.....	53
8.3.	Retorno do Investimento.....	54
9.	Desenvolvimento de um Software de Apoio ao Dimensionamento dos Componentes do Sistema Híbrido.....	55
10.	Casos de Estudo.....	63
11.	Conclusão.....	69
	Referências.....	71

## 1. Introdução

A energia nos dias que correm é um assunto de extrema importância no desenvolvimento de um País ou da própria humanidade. O aproveitamento energético ainda não atingiu um nível satisfatório, tendo em conta que depende na sua grande maioria da energia de origem não renovável e poluente, seja de fonte mineral, atómica, fóssil, etc [1].

O desenvolvimento implica, não só a independência de recursos que possam vir a esgotar, como também a protecção do meio ambiente, de modo a assegurar a qualidade de vida das gerações futuras.

A energia pode ser utilizada de forma mais civilizada e menos dispendiosa, por meios de fontes renováveis como a energia eólica, solar, hídrica, das marés, geotérmica e de outras mais.

A utilização de sistemas capazes de gerar energia de forma “limpa” e sustentável está em crescimento, devido em boa medida aos problemas a nível climático e ao esgotamento dos recursos do nosso planeta, quando confrontados com a crescente procura de energia, por exemplo prevê-se que em 2030 a procura de energia irá crescer em cerca de 29% relativamente ao ano 2000. Estes sistemas tenderão a ganhar ainda maior relevância devido à decisão da Comunidade Europeia e outros países, de aceitar as obrigações de redução de emissões que provoquem alterações no clima, segundo o exposto no Protocolo de Kyoto [2].

Tendo em conta que o aquecimento de água sanitária é um processo no qual é consumido uma grande quantidade de energia, aproximadamente 50% da factura energética, e que o transporte da energia calorífica ao contrário do que se passa com a energética eléctrica, é caro e relativamente pouco eficiente, faz todo o sentido pensar em produção local de calor [3,4].

A produção local de calor a nível doméstico, pode tirar partido do aproveitamento das energias renováveis disponíveis, nomeadamente a energia solar e eólica.

Como exemplo pode ver-se na tabela 1 o consumo de energia eléctrica versus energia térmica no norte da Rússia, onde se pode constatar a elevada parcela de energia térmica consumida, aqui extremamente elevada devido às baixas temperaturas da região.

**Tabela 1 :** Produção de energia eléctrica e térmica na Rússia do norte

Characteristics	Northern Russia			
	European	West-Siberian	East-Siberian	Far-Eastern
Electricity production (TWh)	33	50	11	15
Heat production (million GJ)	272	84	92	230
Heat production (TWh)	76	23	26	64

Fonte: Referência [5]

## 2. Objectivos

O objectivo pedagógico do trabalho passa pela aplicação de conhecimentos gerais de dimensionamento e projecto em engenharia mecânica, em particular na área da energia, focando aspectos que vão desde o projecto termodinâmico à selecção de materiais e tecnologias, segurança, manutenção e operação.

O plano de trabalho estabelecido é o seguinte:

- 1 – Efectuar o levantamento do estado-da-arte em termos de energia eólica, energia solar e armazenamento térmico;
- 2 – Projectar um sistema híbrido de aquecimento de água, de fácil integração num edifício e que tire partido do aproveitamento das energias renováveis eólica e solar;
- 3 – Efectuar um estudo da viabilidade económica do projecto do sistema híbrido de produção de água quente;
- 4 – Elaborar um software de apoio ao dimensionamento dos componentes do sistema híbrido de produção de água quente.

### 3. Energia Eólica

A energia eólica encontra-se na categoria das Fontes de Energia Renováveis (FER), em que mais se tem apostado na Europa durante a última década, sendo a região líder a nível mundial nesta área. Os projectos para o aproveitamento da energia eólica têm aumentado cerca de 40% por ano nos últimos seis anos, resultando na produção de energia eléctrica suficiente para satisfazer o consumo doméstico de 5 milhões de pessoas [6].

A indústria da energia eólica propõe-se instalar uma capacidade de 40.000MW até 2010 [6].



**Figura 1 :** Parque eólico

A energia retirada do vento deriva do aquecimento diferencial da atmosfera pelo sol e das irregularidades da superfície terrestre. Apesar de apenas uma pequena parte da energia solar que chega à terra se transformar em energia cinética do vento (aproximadamente 2%), essa pequena parte é uma quantidade enorme de energia disponível [7,8,9].

Com a ajuda de aerogeradores ou geradores eólicos, podemos converter a força do vento em energia [7].

O aproveitamento da energia eólica tem lugar à mais de 1000 anos, onde se aproveitava a energia cinética do vento para fazer girar moinhos de vento e para bombagem de água [7].

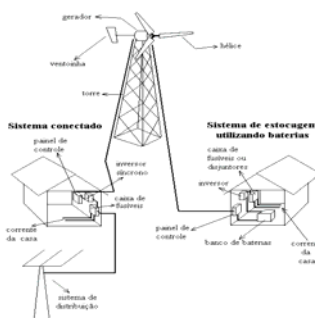


**Figura 2 :** Moinho de vento



**Figura 3 :** Estação de bombagem eólica

No entanto actualmente a principal aplicação dos aerogeradores é a de produzir electricidade, visto que este tipo de energia considerada energia nobre, permite facilmente ser aplicada de várias formas, inclusive ligar bombas eléctricas para bombear água ou outro qualquer tipo de aparelho que funcione a energia eléctrica.



**Figura 4 :** Sistema de electricidade eólico [1]

Os geradores eólicos pequenos são hoje em dia muito utilizados essencialmente em embarcações pequenas de recreio, para alimentar as necessidades eléctricas das embarcações, normalmente ligados a baterias onde se armazena a energia produzida pelo aerogerador. São também utilizados em habitações, vivendas, quintas ou qualquer tipo de instalações que estejam isoladas, ou seja, numa zona onde não exista rede de distribuição de energia eléctrica, de modo a garantir as necessidades eléctricas dessas instalações, por vezes auxiliados por outros sistemas como painéis fotovoltaicos ou geradores diesel [7].



**Figura 5 :** Aerogerador em embarcação



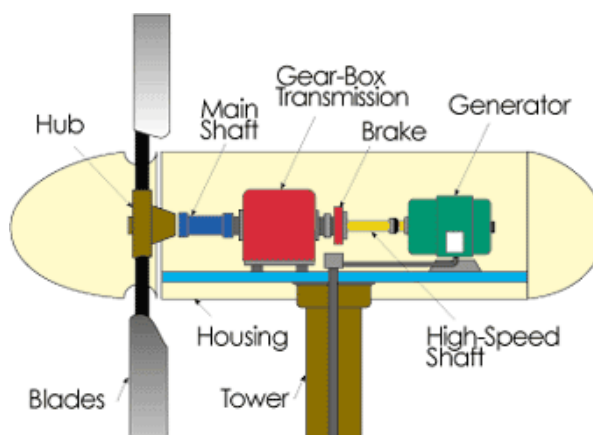
**Figura 6 :** Aerogerador doméstico

No entanto esta tecnologia apresenta algumas desvantagens, nomeadamente o ruído, o impacto visual, a interferência com as aves em migração e os custos que são ainda algo elevados. Embora se preveja que todas estas desvantagens futuramente poderão ser atenuadas ou mesmo contornadas com a evolução da tecnologia, planeamento e aumento da procura.

A grande procura que estas máquinas têm tido na Europa nos últimos anos, têm por consequência um abaixamento nos custos de produção desta tecnologia, tornando-a assim mais acessível e consequentemente mais procurada, formando um ciclo vicioso. De referir que esta tecnologia, como equipamento de produção de energia “limpa”, pode receber incentivos, por parte do governo ou da própria comunidade europeia, se esta vertente for bem explorada.

### 3.1. Turbina Eólica

A turbina eólica, conhecida também como aerogerador, é uma máquina composta pelo rotor, torre, transmissão e gerador. Esta máquina tem como função converter parte da energia cinética contida no vento em energia mecânica através do rotor, que por sua vez é transmitida ao gerador através da transmissão e é finalmente convertida em energia eléctrica [10].



**Figura 7 :** Componentes de uma turbina de eixo horizontal [11]

Embora combinada com a eficiência do modelo, a área varrida pelo rotor circular ( $\pi \cdot r^2$ ) é um factor crucial na determinação da energia entregue pela turbina eólica. A energia cinética bruta por unidade de tempo, designada potência, do vento passando por uma área  $A$  perpendicular ao seu vector velocidade instantânea  $V$ , é dada por [9,12]:

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [W] \quad [12,13,14,15] \quad (1)$$

onde :

$\rho \rightarrow$  Densidade do ar, que varia com a latitude e as condições atmosféricas;

( $\rho \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ ) [12]

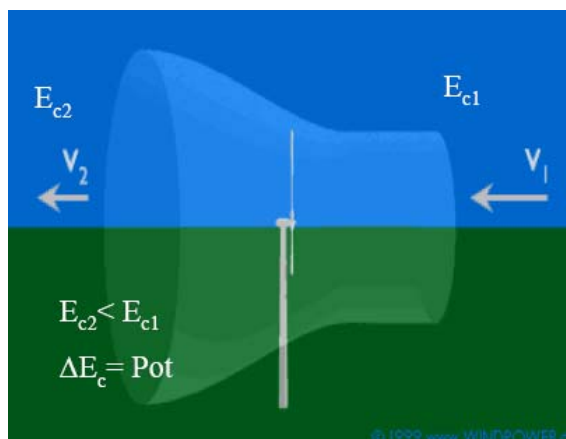
$C_p \rightarrow$  É o coeficiente da performance que se relaciona com a energia cinética de saída e depende do modelo e da relação entre a velocidade do rotor e a velocidade do vento (idealmente  $C_p = 0,593$ ) [1];

$v \rightarrow$  velocidade do vento em  $\text{m/s}^2$  [12].

O rendimento global do sistema eólico baseia-se na relação entre a potência disponível do vento e a potência final entregue pelo sistema. Os rotores ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade, fazendo com que haja um diferencial entre a velocidade frontal ao rotor (velocidade não perturbada) e a velocidade atrás do rotor (velocidade na esteira do rotor). Este diferencial não deverá ser muito grande,

porque caso o vento sofra uma diminuição de velocidade muito acentuada, pode dar-se o fenómeno do vento circular em volta do rotor ao invés de passar através do mesmo [8].

Numa situação ideal, a extracção máxima de energia verifica-se para uma velocidade do vento na esteira do rotor aproximadamente igual a 1/3 da velocidade não perturbada. O valor máximo de energia captado por um aerogerador é limitado pela eficiência de Betz, que é dada pelo factor 16/27 ou 0,593, que significa que em condições ideais apenas 59,3% da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída pela turbina eólica. Já na prática, é comum encontrar eficiências do rotor a oscilar entre 35 e 45%, para os modelos mais eficientes [8,11].



**Figura 8 :** Balanço energético do vento [15]

Existem ainda outros factores que reduzem o valor do rendimento do aerogerador, tais como, o rendimento aerodinâmico, a eficiência do rotor, da transmissão, da caixa multiplicadora e do gerador. Além disso o facto do rotor funcionar numa faixa limitada de velocidades do vento, também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada.

O rendimento global de um sistema eólico simples, encontra-se geralmente entre os 10 e 30% dependendo do modelo em questão [11].

A faixa de velocidades de funcionamento do rotor, é entre a chamada velocidade de entrada (cut-in speed), que é a velocidade mínima necessária para vencer algumas perdas e mover o rotor e a velocidade de corte (cut-out speed), que é a velocidade à qual se faz accionar um mecanismo de protecção com a finalidade de não causar danos ao rotor e à sua estrutura [8,11].

Alguns dentro desta faixa de funcionamento, está a velocidade óptima de rotação, que é a velocidade à qual o rendimento da máquina é máximo, sendo que para velocidades inferiores ou superiores a esta, o rendimento irá diminuir e é chamada de velocidade nominal ou de projecto [8,11].

### 3.1.1. Análise do Vento

A energia potencial da turbina eólica depende do cubo da velocidade do vento, o que demonstra uma grande sensibilidade da energia em relação à velocidade do vento. Sendo assim obvia a importância da precisão na obtenção de dados relativos ao vento no local a instalar a turbina, de modo a estimar com algum rigor a energia disponível [9,12].

A velocidade média anual é um bom parâmetro para analisar o vento. No entanto se for pretendida uma avaliação do vento mais rigorosa e que permita ter uma ideia da sazonalidade do vento, ter-se-á que recorrer a médias mensais da velocidade do vento [9,12].

Os dados relativos às médias mensais e anuais podem ser obtidos em estações meteorológicas, em universidades ou até em aeroportos, sendo estes últimos os dados geralmente mais fiáveis. No entanto dever-



se-á tentar saber quais as condições da superfície do solo e altura onde foram obtidos os dados e comparar com a superfície e altura de onde se pretende instalar a turbina [12].

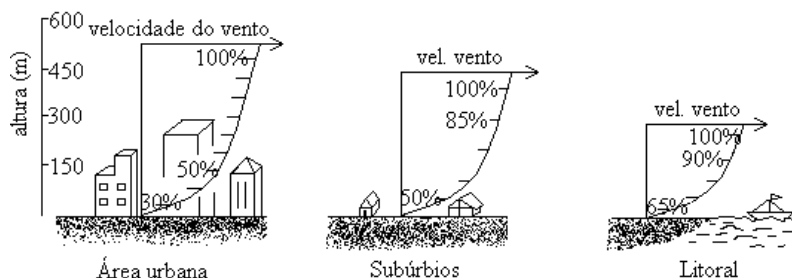
Existe sempre a hipótese de fazer um estudo do vento no próprio local onde se pretende instalar uma turbina eólica, embora esta solução se torne dispendiosa e demore muito mais tempo.



**Figura 9 : Estação meteorológica**

O vento apresenta um perfil de velocidades decrescente na vertical à medida que se aproxima da superfície da terra, devido à fricção entre o ar e o solo. O decréscimo é tanto maior, quanto maior for a rugosidade do solo [12].

Por exemplo, no esquema da figura 10, pode perceber-se que regiões que possuem construções elevadas como prédios, só atingem velocidades razoáveis de vento a alturas relativamente elevadas. Já nas áreas em que só existem casas e pequenas construções, esta taxa diminui e assim, em altitudes medianas já temos ventos satisfatórios. No último caso mostrado, ao nível do mar, vê-se que os ventos já são muito mais rápidos em altitudes menores que nos exemplos anteriores [1].

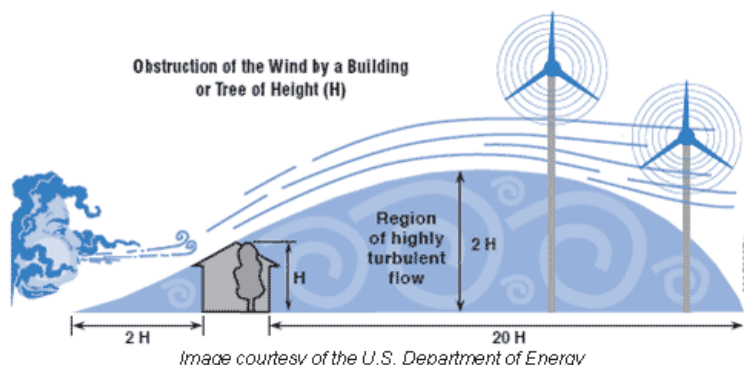


**Figura 10 : Perfil de velocidade do vento em diferentes zonas [1]**

Assim, a conversão de energia eólica em regiões com muitos obstáculos fica prejudicada. Porém, mesmo nestas regiões é possível o aproveitamento, mesmo que já em escalas menores. O que é preciso saber é se nestas regiões onde há um aproveitamento mais restrito é ainda viável economicamente construir tais equipamentos para se converter a energia eólica para electricidade, por exemplo [1].

Existe uma regra prática que permite a utilização de máquinas eólicas em regiões que possuem construções e/ou obstáculos naturais, tais como árvores muito grandes, prédios grandes ou elevações no solo. Esta regra diz que a máquina nestas regiões tem que ficar a uma distância mínima de 7 vezes a altura que o obstáculo tem, ou seja, se numa casa de 5 metros de altura, por exemplo, se desejar implantar um sistema de captação e conversão da energia eólica, este sistema deverá estar a uma distância de 35 metros para que haja um aproveitamento melhor dos geradores e que as turbulências causada pela uniformidade da superfície, das construções e dos obstáculos naturais sejam minimizadas, não interferindo muito no aproveitamento do sistema [1].





**Figura 11 :** Região turbulenta do escoamento do vento após um obstáculo

Pode também medir-se a velocidade do vento a uma determinada altura do solo e depois estimar-se a velocidade a outra altura, através da seguinte equação:

$$v_2 = v_1 \times (h_2 / h_1)^n \quad [m/s] \quad [9,16,17] \quad (2)$$

Onde:

$v_1$  → velocidade conhecida;

$v_2$  → velocidade que se pretende calcular;

$h_1$  → altura a que foi medida a velocidade 1;

$h_2$  → altura a que se pretende estimar a velocidade 2;

$n$  → coeficiente que depende da rugosidade da superfície, na tabela 2, apresenta-se alguns valores referência para  $n$ .

**Tabela 2 :** Coeficiente “n” dependente da rugosidade da superfície [9]

Tipo de Superfície	n
Superfície do oceano, areia	0,10
Terra, mato baixo	0,16
Pequenos arbustos, mato alto	0,18
Arbustos grandes, pequenas árvores, aldeias	0,20
Árvores grandes, cidades	0,30

### 3.1.2. Componentes da Turbina

#### 3.1.2.1. Rotor

O rotor é um componente destinado a captar energia cinética dos ventos e convertê-la em energia mecânica no eixo. Se o eixo do rotor for posicionado horizontal ou verticalmente, ter-se-á um rotor de eixo horizontal (rotor hélice, rotor multipás, rotor holandês, etc.) ou um rotor de eixo vertical (rotor Savonius, rotor Darrieus, etc.) [11,12,14].

##### a. Rotor de Eixo horizontal

Rotores de eixo horizontal são movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (“lift”) e forças de arrasto (“drag”). Um corpo que obstrui o movimento do vento, sofre a acção de forças

perpendiculares ao fluxo de vento relativo (forças de sustentação) e de forças paralelas ao fluxo de vento relativo (forças de arrasto) [8,12].

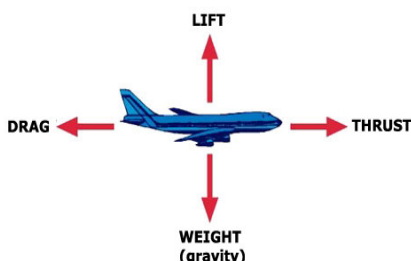


Figura 12 : Diagrama de forças

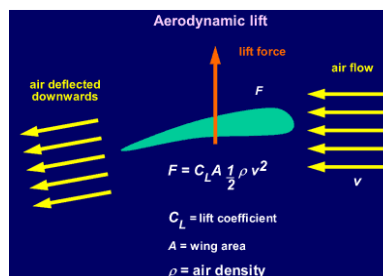


Figura 13 : Representação da força de sustentação

Ambas as forças são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento [8,12].  
As forças de sustentação dependem fortemente da geometria do corpo e do ângulo entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo, chamado o “ângulo de ataque” [8,12].

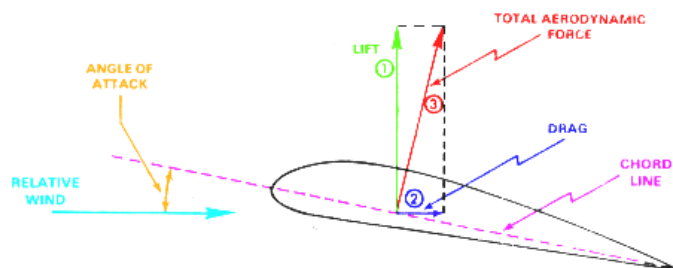


Figura 14 : Representação das forças envolvidas na aerodinâmica das pás

Rotores que girem predominantemente sob forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que girem sob o efeito das forças de arrasto, para uma mesma velocidade do vento [8,11,12].

Os sistemas de eixo horizontal são movidos predominantemente por forças de sustentação e devem ser montados sobre uma base giratória provida de movimento em torno de um eixo vertical (“yaw”), para que o rotor esteja sempre alinhado com a direcção do vento [8,12].

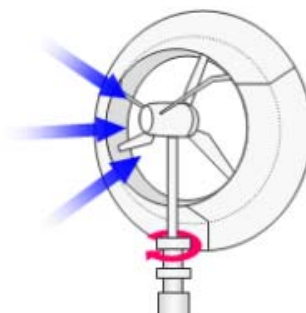
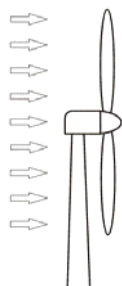


Figura 15 : Representação da base giratória

Existem dois tipos de disposição do disco varrido pelas pás do rotor, a jusante do vento (“down wind rotors”) ou a montante do vento (“up wind rotors”). Cada uma destas duas disposições apresenta vantagens e desvantagens [8].

No caso do disco varrido pelas pás do rotor estar montado a jusante, ter-se-á a vantagem de que o rotor se consegue alinhar sozinho com a direcção do vento e a desvantagem da influência da nave que suporta o rotor e da torre no escoamento do vento, retirando assim algum rendimento à máquina [8].

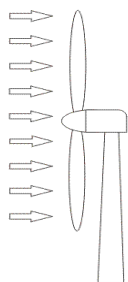


**Figura 16 :** Representação de rotor instalado a jusante do vento



**Figura 17 :** Rotor instalado a jusante do vento (down wind rotors)

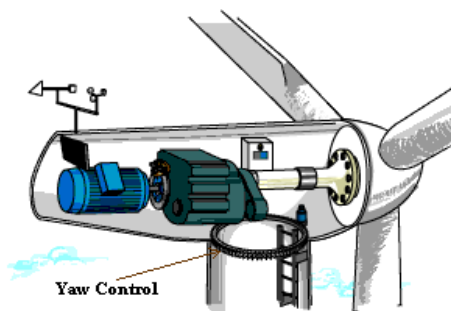
Por outro lado quando instalado a montante do vento, a vantagem será um maior rendimento devido à não perturbação do escoamento do vento, no entanto implica um equipamento que permita alinhar o rotor com a direcção do vento, que poderá ser uma “cauda” ou um sistema de orientação com um motor eléctrico comandado electronicamente por um circuito que determine a direcção do vento [8].



**Figura 18 :** Representação de rotor instalado a montante do vento



**Figura 19 :** Rotor instalado a montante do vento com “cauda” para orientação



**Figura 20 :** Rotor instalado a montante do vento com sistema de orientação mecânico

Este tipo de rotores consegue eficiências na ordem dos 40%, que é um valor bastante bom, tendo em conta o máximo teórico de 59% [18].

#### ***b. Rotor de Eixo Vertical***

Os rotores de eixo vertical apresentam à partida a vantagem de não precisarem de mecanismos de orientação relativamente à direcção do vento. Desde logo este facto reduz a complexidade do projecto e os

esforços devidos a forças derivadas da aceleração de “Coriolis”. Este tipo de rotores pode também ser movidos por forças de arrasto ou por forças de sustentação [8,12].

Os principais tipos de rotores de eixo vertical são:

- Savonius;
- Darrieus;

Os rotores do tipo Savonius foram inventados pelo Engenheiro Finlandês S. J. Savonius em 1929 [19].

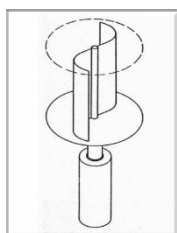


**Figura 21 :** Rotor do tipo Savonius

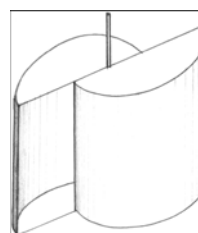


**Figura 22 :** Rotor do tipo Savonius, instalado numa habitação

São predominantemente as forças de arrasto que fazem mover este tipo de rotor, que originalmente foi concebido com duas espécies de “taças”. “Taças” estas que podem estar dispostas de duas formas, uma será como na figura 23, em que as “taças” estão presas pela extremidade ao centro do rotor e outra como mostra a figura 24, com as “taças” fixadas a se sobreporem uma à outra [19].

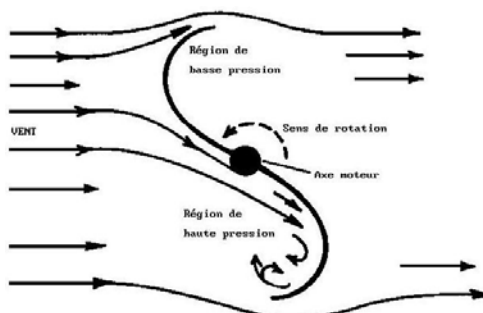


**Figura 23 :** Representação de um rotor tipo Savonius, sem sobreposição



**Figura 24 :** Representação de um rotor tipo Savonius, com sobreposição [19]

Este sistema funciona aproveitando a grande força de arrasto provocada pelo vento na parte côncava da “taça”, enquanto que a parte convexa, como apresenta melhor aerodinâmica vai de encontro ao vento, de modo a diminuir ao máximo a força de arrasto nesta face [19].



**Figura 25 :** Escoamento do vento em torno do rotor de Savonius

Os rotores Savonius têm na sua principal característica o elevado binário de arranque, mas em contrapartida funcionam a velocidades reduzidas [12]. Outra característica deste tipo de rotores é a sua baixa eficiência relativamente a outros tipos, que está normalmente entre ao 15 e os 25% [19].

Já os rotores tipo Darrieus desenvolvidos em 1927 pelo Engenheiro Francês G.J.M. Darrieus são os mais fortes concorrentes às turbinas convencionais de eixo horizontal. Este Engenheiro registou a patente em 1931 de dois rotores diferentes, sendo mais conhecido o de pás curvas (“Eggbeater (or Curved Bladed)”) representado na figura 26. O outro rotor é o de pás rectas (“Straight-bladed”), representado na figura 27 [12,19].



**Figura 26 :** Rotor tipo Darrieus de pás curvas



**Figura 27 :** Rotor tipo Darrieus de pás rectas

Os rotores de pás curvas, são movidos por forças de sustentação, constituídos por lâminas (duas ou três) curvas de perfil aerodinâmico atadas pelas duas pontas ao eixo vertical. Quando em rotação, as lâminas são curvadas por força centrífuga até um diâmetro aproximadamente igual a distância entre as pontas, assumindo uma forma arredondada [8,12,19].

Já os rotores de pás rectas são compostos por pás fixas, e devido à sua construção simples e barata, têm vantagem no mercado de pequenas turbinas em relação aos de pás curvas [19].

Contrariamente aos rotores tipo Savonius, estes apresentam um binário de arranque aproximadamente nulo, mas conseguem atingir grandes velocidades de rotação. Devido à limitação do arranque estes rotores podem ser combinados com outro tipo de rotor, de modo a aumentar o binário de arranque [12].



**Figura 28 :** Rotor de Darrieus combinado com rotor de Savonius, para auxílio no arranque

A eficiência deste tipo de rotor é alta, sendo comparáveis aos tipos convencionais de eixo horizontal, ou seja, com eficiências a chegarem aos 40% [12].

De seguida apresenta-se um quadro resumo com as vantagens e desvantagens de cada um dos três tipos de rotor mencionados.

**Tabela 3 :** Vantagens e desvantagens das turbinas de eixo vertical e horizontal

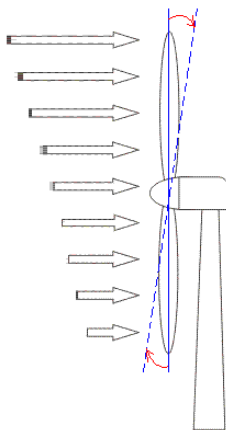
Desenho	Vantagens	Desvantagens
Turbina de eixo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É o tipo de turbina mais utilizado, pelo que o seu funcionamento e manutenção são melhor compreendidos [18];</li> <li>• A mais barata, devido à sua utilização em massa.</li> <li>• Alta eficiência, aproximadamente 40%, que se situa próximo do máximo teórico de 59% [18];</li> <li>• Baixo custo com material (tamanho relativo das pás reduzido) [18].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O alternador deve estar junto ao eixo da turbina, pelo que implica estar no topo da torre, contribuindo para o difícil acesso na manutenção [18];</li> <li>• Necessita sistema de orientação;</li> <li>• Apresenta maior sensibilidade à instabilidade direccional do vento.</li> </ul>
Turbina de eixo vertical tipo Savonius	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de construir [19];</li> <li>• Poucas partes em movimento [19];</li> <li>• Baixa velocidade de rotação [19];</li> <li>• O alternador esta perto do nível do solo [2,19];</li> <li>• Menor ruído de funcionamento, devido à sua reduzida velocidade de rotação;</li> <li>• Insensível à instabilidade do vento;</li> <li>• Não necessita sistema de orientação, visto funcionar com vento proveniente de qualquer direcção [15];</li> <li>• Não necessita de mecanismos de protecção por sobre velocidade, visto que se auto controla aerodinamicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa eficiência, entre 15% e 25% [18,19];</li> <li>• É necessário muito material na sua construção (grande área de material nas pás do rotor) [18];</li> <li>• Custo de aquisição algo elevado devido a não ser muito utilizada.</li> </ul>
Turbina de eixo vertical tipo Darrieus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiência, aproximadamente 40% [18];</li> <li>• O alternador esta perto do nível do solo [15,18];</li> <li>• Não necessita sistema de orientação, visto funcionar com vento proveniente de qualquer direcção [15].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As “pás” movem-se com grandes velocidades, próximas da velocidade do som, provocando assim fortes tensões [19];</li> <li>• Binário de arranque aproximadamente nulo, pelo que necessita de um sistema auxiliar de arranque [15];</li> <li>• Construção tecnicamente mais elaborada [15];</li> <li>• Custo de aquisição algo elevado devido a não ser muito utilizada.</li> </ul>

### c. Aspectos Construtivos

Em termos construtivos, as pás podem assumir variadas formas e empregar diversos tipos de material. As pás que pretendam rigidez, são normalmente constituídas por materiais como madeira, alumínio, aço, fibra de vidro, fibra de carbono e/ou Kevlar [12].

Os rotores modernos são na sua grande maioria rotores de eixo horizontal, constituídos por duas ou três pás.

A escolha entre duas e três pás, baseia-se no facto do rotor de duas pás ser aparentemente mais barato, enquanto que o de três pás apresenta um comportamento dinâmico do rotor mais suave, fornecendo assim oscilações menores no binário do eixo, simplificando a transmissão mecânica. Já se um rotor de duas pás for o pretendido, por vezes, quando o aerogerador é de grandes dimensões, torna-se necessário utilizar um rotor articulado, que permita alguns graus de movimento perpendicular ao eixo de rotação. O objectivo do rotor articulado, é permitir à ponta da pá que está a passar no extremo superior do círculo de rotação flectir ligeiramente para trás, enquanto a pá no extremo oposto flecte ligeiramente para a frente, de modo a compensar assim a diferença na velocidade do vento que atinge as duas pás, que pode ser significativa devido ao gradiente vertical de velocidades. Esta medida alivia significativamente as tensões na raiz das pás, no entanto torna mais caro todo o sistema, colocando-o ao nível do sistema com três pás [10,12].



**Figura 29 :** Sistema de flexão do eixo do rotor

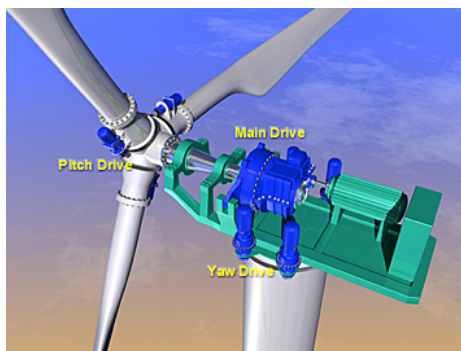
De referir ainda que um rotor com três pás apresenta um binário de arranque mais elevado, implicando no entanto uma diminuição ligeira na eficiência, devido à sua menor aerodinâmica [10].

Os rotores devem ser fabricados com grande esbeltez, precisão nos perfis aerodinâmicos e bom acabamento superficial, de modo a garantirem uma máxima eficiência aerodinâmica.

#### 3.1.2.2. Sistemas de Controlo para Limitação de Potência

O sistema de controlo mais comum, baseia-se no controlo do ângulo das pás do rotor, fazendo com que a pá rode em torno do seu eixo longitudinal, de forma a aumentar o ângulo de passo da hélice, reduzindo assim a eficiência aerodinâmica durante os períodos de ventos fortes e consequentemente diminui a rotação e as cargas aerodinâmicas no rotor [12].





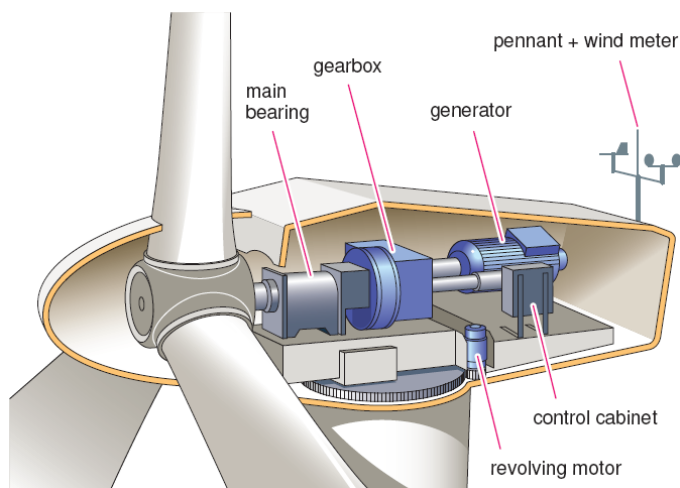
**Figura 30** : Sistema de controlo para limitação de potência por variação do ângulo das pás

Um sistema alternativo passa por utilizar pás fixas, que tornam o cubo mais barato e simples de fabricar, em conjunto com um gerador de rotação constante. O sistema funciona devido à limitação de rotação imposta pelo gerador de rotação constante, tendo o efeito de que à medida que o vento aumenta, aumenta também o ângulo de ataque do escoamento relativamente à pá, até que a determinada altura o escoamento descola do rotor e diminui assim a eficiência aerodinâmica [12,14].

### 3.1.2.3. Transmissão

Normalmente a velocidade angular dos rotores varia entre 15 e 220 rpm, devido a restrições da velocidade na ponta da pá (velocidades tangenciais), que variam entre os 50 e 110 m/s [12].

Como os geradores trabalham com velocidades de rotação mais elevadas, sendo comum encontrar velocidades entre 1200 e 1800 rpm, logo torna-se necessário a instalação de sistemas de multiplicação entre o eixo do rotor e o eixo do gerador [8,11,12].



**Figura 31** : Pormenor do interior de um aerogerador de eixo horizontal [14]

Para pequenos aerogeradores, com rotores de diâmetro inferior a 3 metros e potências inferiores a 1kW, é possível construir geradores especiais que funcionam a rotação mais baixa, podendo assim serem directamente ligados ao rotor [12].

De referir ainda que geradores com o diâmetro do rotor inferior a 1 metro podem atingir velocidades até 2000 rpm, dispensando assim qualquer tipo de transmissão e tornando o sistema mais simples e barato [12].



### 3.1.2.4. Geradores

A transformação de energia mecânica de rotação em energia eléctrica através de equipamentos de conversão electromecânicos é um problema tecnologicamente dominado [12]. No mercado dos geradores existe vários tipos de geradores disponíveis a adaptar a cada situação.

Contudo o problema da integração dos geradores numa turbina eólica passa pela variação da velocidade do vento, que implica variações de potência e instabilidade na frequência e tensão da energia final produzida. Isto pode ser um grande problema quando a finalidade do aerogerador é alimentar equipamentos sensíveis a estas variações ou mesmo para ligar à rede de distribuição de energia.

Decididamente o tipo de gerador influencia em muito o comportamento do aerogerador, sendo que este componente deverá ser seleccionado com algum rigor, de modo a se adaptar melhor à função para a qual está destinado o aerogerador.

Os geradores são constituídos essencialmente por duas partes, o rotor e o estator.

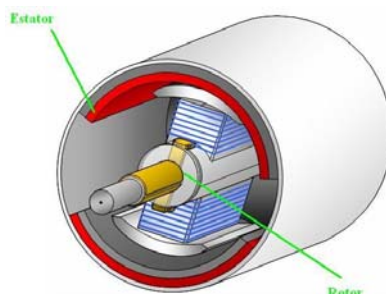


Figura 32 : Esquema de um gerador

**Rotor** - Parte girante da máquina, montada sobre o eixo da máquina, construído de um material ferromagnético envolto num enrolamento chamado enrolamento de armadura, este enrolamento suporta uma alta corrente e o anel comutador.

**Estator** - Parte estática da máquina, montada em volta do rotor, de forma que o mesmo possa girar internamente, também constituído de material ferromagnético envolto num enrolamento de baixa potência chamado de enrolamento de campo, que tem a função apenas de produzir um campo magnético fixo para interagir com o campo da armadura. O estator poderá ser constituído por ímãs permanentes que produzirão o campo magnético fixo em lugar do enrolamento de campo.

#### a. Geradores de Corrente Contínua

O gerador de corrente contínua funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do eixo do rotor em energia eléctrica na forma de corrente contínua.

A rotação do rotor faz com que a intensidade de um campo magnético produzido por um Ímã permanente ou pelo enrolamento de campo, que atravessa um conjunto de enrolamentos no rotor varie no tempo, o que pela Lei da indução de Faraday leva a indução de tensões nos terminais dos mesmos.

Este tipo de gerador é mais indicado para aplicações isoladas, em que o objectivo é carregar baterias [1].

Os geradores de corrente contínua são geralmente mais pesados e mais caros, sendo principalmente utilizados para baixas potências e necessitam de um regulador de tensão acoplado ao campo, sendo também necessária manutenção periódica.

**b. Geradores Síncronos**

O nome Síncrono deve-se ao facto desta máquina operar com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão eléctrica alternada nos terminais da mesma [20].

O gerador síncrono precisa que a fonte de energia mecânica possua uma velocidade constante e controlada, pois a frequência da tensão depende directamente da velocidade da máquina [20].

Para que a máquina síncrona seja capaz de efectivamente converter energia mecânica aplicada no seu eixo, é necessário que o enrolamento de campo localizado no rotor da máquina seja alimentado por uma fonte de tensão contínua de forma que ao girar o campo magnético gerado pelos pólos do rotor tenham um movimento relativo aos condutores dos enrolamentos do estator [20].

Devido a esse movimento relativo entre o campo magnético dos pólos do rotor, a intensidade do campo magnético que atravessa os enrolamentos do estator irá variar no tempo, e assim ter-se-á pela lei de Faraday uma indução de tensões nos terminais dos enrolamentos do estator. Devido à distribuição e disposição espacial do conjunto de enrolamentos do estator, as tensões induzidas nos seus terminais serão alternadas sinusoidais [20].

Grande parte dos sistemas de conversão de energia eólica construídos até hoje, de média e grande escala de produção, usam geradores síncronos para a conversão electromecânica, visto que estes apresentam um elevado nível de desenvolvimento tecnológico.

Os geradores síncronos permitem dois tipos de excitação de campo, sendo eles a excitação independente, por baterias, com carregamento e excitação acoplada a rotação do eixo com campo de ímã permanente.

De seguida estão descritas algumas vantagens e desvantagens dos geradores síncronos:

Vantagens:

- Não há virtualmente limitação de potência para a sua fabricação [12];
- Podem ser ligados directamente à rede [12];
- Alta eficiência ( $\eta = 0,98$ ) [12];
- Permitem melhor controlo do factor de potência da carga [12].

Desvantagens:

- Se estiver ligado à rede, é necessário manter a velocidade de rotação constante no sistema, visto que a estabilidade da frequência depende directamente da velocidade de rotação [12];
- Necessita de regulador de tensão acoplado ao campo [12].

**c. Geradores Assíncronos ou de Indução**

As máquinas assíncronas ou de indução são normalmente utilizadas como motores e menos como geradores.

Este tipo de geradores não possuem campo de excitação, no entanto, comparativamente aos geradores síncronos, estes necessitam de mais binário de arranque para o acoplamento. Os geradores de indução, permitem variações limitadas de rotação dentro da margem de “escorregamento” do gerador, o que permite uma maior elasticidade em rotação do que o gerador síncrono, reduzindo assim as tensões mecânicas e as flutuações de potência gerada, quando se verificam rajadas de vento [12].

De seguida estão descritas algumas vantagens e desvantagens dos geradores assíncronos:

Vantagens:

- Grande durabilidade e manutenção mínima, devido à sua simplicidade, robustez, fiabilidade e economia;
- Podem ser ligados directamente à corrente, sem a necessidade de sincronização ou de regulação de tensão [12].

Desvantagens:

- Absorvem energia reactiva da rede, o que obriga à utilização de bateria de condensadores para compensação do factor de potência [12];
- Eficiência inferior aos geradores síncronos, devido à energia perdida no escorregamento existente entre o rotor e o campo girante [12].

#### 3.1.2.5. Torre

As torres que permitem elevar os rotores à altura desejada, estão sujeitas a inúmeros esforços. Nomeadamente esforços horizontais, devido à força de arrasto exercida no rotor e na própria torre, esforços de torção, impostos pelo mecanismo de controlo de rotação da nave giratória e esforços verticais, devido ao peso do próprio equipamento [12].

Devido a todos estes esforços, o material a utilizar, assim como os cálculos rigorosos da estrutura tornam-se fundamentais. Normalmente a torre é em aço, sendo possível a utilização de outros materiais em torres de menores dimensões, como seja a madeira, o alumínio e até o plástico [12].

É importante durante o projecto da torre calcular a sua frequência natural, que deve ser desacoplada das excitações para evitar o fenómeno de ressonância [12].

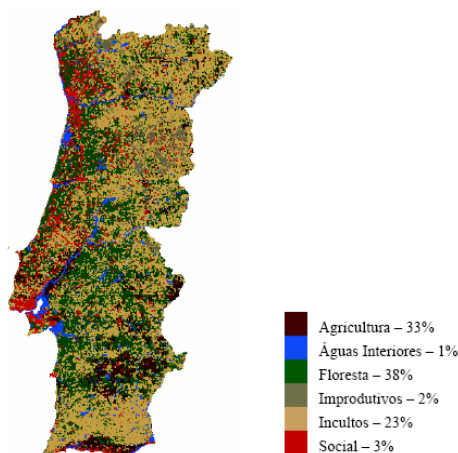
### 3.2. Impacto Ambiental

A energia eólica é uma eficiente fonte de produção de electricidade tendo ainda como vantagem os factos de estar livre de perigos, de ser limpa e de ser abundante. Estas inquestionáveis vantagens da energia eólica não impedem que se tenham feito estudos, muito aprofundados, sobre todo o tipo de impactos que ela possa constituir [21].

#### a. Utilização do terreno

Os parques eólicos permitem que o terreno ocupado seja utilizado para outros fins, agrícolas por exemplo, no entanto não se deve esquecer que a implantação de obstáculos ou o aumento da rugosidade do terreno implica uma diminuição da produção do parque. De uma forma geral a instalação de parques eólicos não afecta significativamente o habitat natural [6,21].

Na figura 33 está representado no mapa de Portugal continental o tipo de ocupação de cada zona e a percentagem correspondente.



**Figura 33 :** Ocupação de Portugal continental [17]

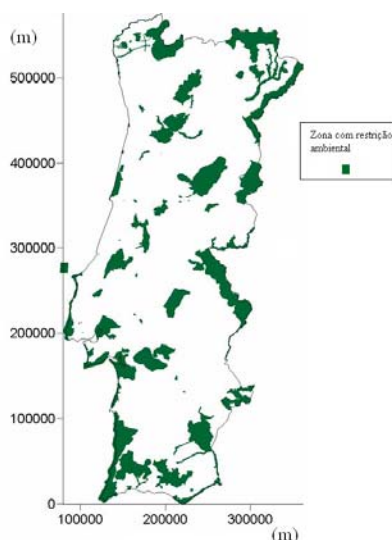
A área ocupada por um parque eólico não é excessiva quando comparada com outros tipos de aproveitamentos (hídricos por exemplo). A relação entre a área varrida pelas pás e a potência dos aerogeradores é de aproximadamente  $3\text{m}^2/\text{kW}$  [21].

Estudos aerodinâmicos comprovam que os aerogeradores devem estar distribuídos pelo terreno de forma que o funcionamento de cada aerogerador não seja afectado pelas perturbações aerodinâmicas dos aerogeradores vizinhos. Estes factos implicam que a disposição dos aerogeradores respeite uma distância mínima entre eles de 5 vezes o comprimento das pás [21].

A utilização de terrenos classificados como reserva ecológica nacional (REN) ou rede Natura 2000, para a instalação dos Parques Eólicos exige a desafectação destas áreas, o reconhecimento do interesse público dos projectos e um estudo de incidências ambientais [Dec-Lei 312/2001] [17].

Pelo atrás exposto, é normalmente exigido aos promotores de parques eólicos, um estudo de incidências e/ou impactos ambientais (dependendo da classificação dos terrenos) a incluir na fase de projecto e licenciamento dos mesmos.

Na figura 34 encontra-se um mapa de Portugal Continental com a indicação das áreas onde existem restrições ambientais.



**Figura 34 :** Zonas com restrição ambiental em Portugal continental [17]

Os aerogeradores mais comuns são os que têm que ser colocados em grandes espaços, nas montanhas ou no mar, causando sempre a perda de significativos espaços utilizáveis [22].



**Figura 35 :** Parque eólico ocupando um grande espaço

Para que não seja necessário abdicar de terreno na implementação de um aerogerador, têm vindo a ser desenvolvidos modelos que podem ser colocados no topo das habitações [22,23]. Estas pequenas turbinas eólicas, têm um impacto visual e do meio ambiente quase nulo. Com um tamanho que poderá ser pouco superior a uma antena parabólica, as turbinas eólicas pequenas, podem ser usadas em zonas isoladas em conjunto com outras formas de gerar energia, ou mesmo integrar-se perfeitamente em edifícios urbanos.



**Figura 36 :** Turbina eólica de eixo horizontal doméstica



**Figura 37 :** Turbina eólica de eixo vertical urbana

#### ***b. Emissão de ruído***

A emissão de ruídos nos aerogeradores é devido ao funcionamento mecânico e ao efeito aerodinâmico. Para aerogeradores com diâmetro do rotor superior a 20m os efeitos aerodinâmicos são os que mais contribuem para a emissão de ruídos [21,24].

Os ruídos emitidos pelos aerogeradores grandes decrescem entre os 50dB junto ao aerogerador e os 35dB a uma distância de 450m. Os efeitos fisiológicos, sobre o sistema auditivo, e a afectação de diferentes funções orgânicas apenas são sentidos a partir dos 65dB. No entanto, valores acima dos 40dB podem provocar efeitos psíquicos sobre o homem, sendo o nível de ruído recomendável inferior a 40dB. O ruído de 40dB corresponde a uma distância dos aerogeradores de 200m. Sendo esta a distância entre aerogeradores e habitações respeitada na Europa [21].

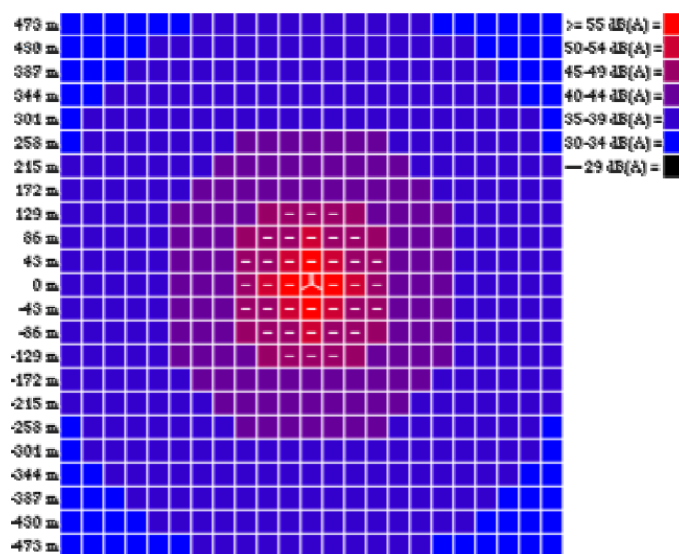


Figura 38 : Raio de acção sonora de um aerogerador [15]

Com o avanço das tecnologias de construção de aerogeradores, o problema do ruído é, actualmente, encarado como um mal menor. As máquinas modernas são incomparavelmente mais silenciosas do que as antigas, sendo que, na grande maioria das situações de funcionamento, o ruído produzido pelas mesmas é praticamente inaudível, sendo frequentemente superado pelo produzido pelo próprio vento, pela vegetação ou outras fontes [17].

No que diz respeito a aerogeradores de pequena dimensão, estes não têm qualquer problema a nível de ruído, porque o ruído emitido é muito reduzido, dando-lhes uma forte vantagem neste aspecto.

### c. Vibração e Ruído de Baixa Frequência

A vibração e o ruído de baixa frequência são problemas que afectam turbinas eólicas de qualquer dimensão.

Este problema afecta essencialmente turbinas de eixo horizontal quando montadas em embarcações ou edifícios, com uma ligação rígida, ou seja, fixadas directamente a um mastro de uma embarcação, ou directamente fixadas a um edifício ou casa, quer seja no topo quer seja nas paredes [25].

De notar que as turbinas de eixo horizontal com o rotor a jusante (downwind turbines) produzem maior vibração e ruído de baixa frequência do que as turbinas com o rotor a montante (upwind turbines), devido à interferência no escoamento do ar da torre que depois atravessa as pás da turbina com um regime não tão linear [24,26].

O fenómeno dá-se através da transmissão da vibração produzida pelas turbinas para o local onde estão fixadas, por exemplo se for no topo de uma casa, esta vibração será transmitida à casa e poderá ter fenómenos de amplificação dependente de determinadas condições e poderá se tornar incomodativo durante a noite quando o silêncio paira, interferir com a própria estrutura da casa, e até mesmo provocar dores de cabeça, náuseas e ansiedade, segundo alguns cientistas, no entanto nada foi provado ainda [25].

Este problema é atenuado quando se trata de turbinas montadas no solo, visto que este se encarrega de amortecer a vibração [25].

A solução para este problema passa por assegurar que a ligação entre a turbina e a casa por exemplo, seja uma ligação elástica e não rígida, de modo a que a vibração seja amortecida ao ser transmitida para a casa. Através da instalação de borrachas montadas como apoio ao suporte da turbina, consegue-se reduções de dois terços da vibração [25].



#### *d. Impacto visual*

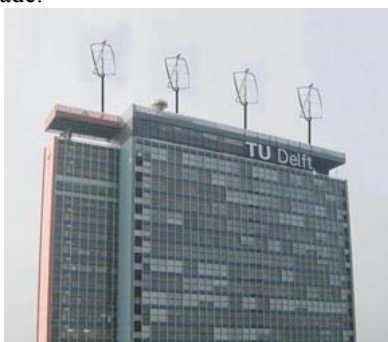
Os modernos aerogeradores, com alturas das torres de 40m e comprimento das pás de 20m, constituem obviamente uma alteração visual da paisagem [21].

Um dos principais obstáculos à integração de turbinas eólicas em edifícios urbanos é a regulamentação de edifícios de cada país. Por exemplo na Holanda a altura máxima de uma microturbina num edifício é de 15m, enquanto na França é de 12m e 30m nos Estados Unidos. Dependendo do país em questão, estes regulamentos poderão afectar o desempenho da turbina e assim a sua viabilidade económica.

O impacto visual é muito difícil de avaliar. No entanto, existem alguns efeitos incomodativos que podem ser contabilizados tais como: o efeito de sombras em movimento e reflexões intermitentes. O primeiro pode ser evitado com uma correcta planificação do parque. O efeito das reflexões intermitentes, devidas à incidência do sol sobre as pás em movimento, pode ser evitado utilizando pinturas opacas. Pintar os aerogeradores com as cores da paisagem é uma boa solução para minimizar o impacto visual. Por vezes nas proximidades de instalações militares é sugerida uma pintura de camuflagem para evitar que os aerogeradores constituam pontos de referência [14,21].

A maior parte das pessoas que vive nas imediações dos parques eólicos acham-nos atraentes, tornando-se muitas vezes atracções turísticas e um símbolo elegante e esteticamente reconfortante de um futuro melhor [6].

No caso dos pequenos aerogeradores, mais uma vez a situação é favorável, visto que o seu impacto visual num prédio é muito pequeno e se bem programada a sua integração num edifício, poderá até ser um elemento elegante e transmitir a imagem de preocupação com o meio ambiente, que é respeitada e admirada pela sociedade.



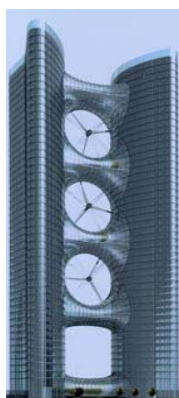
**Figura 39** : Edifício urbano com turbinas eólicas de eixo vertical do tipo Darrieus



**Figura 40** : Habitação com turbinas eólicas de eixo horizontal



**Figura 41** : Turbina eólica de eixo vertical, esteticamente atraente



**Figura 42** : Integração de turbinas eólicas em edifícios



**Figura 43** : Turbina eólica híbrida, com boa apresentação estética

### *e. Balanço Energético*

A energia gasta para produzir, instalar, operar e fazer manutenção de um aerogerador típico é produzida por esse mesmo aerogerador em menos de meio ano. Este facto torna a energia eólica numa das energias mais atractivas em termos de planeamento energético mundial [6,21].

### *f. Aves*

Em alguns casos de parques localizados em zonas de migração de aves, tais como Tarifa no sul de Espanha, tem-se observado um elevado número de aves mortas pelo movimento de rotação das pás. No entanto, estes incidentes não constituem um caso sério na grande maioria dos parques. A forma de evitar estes incidentes é uma correcta planificação na localização dos parques evitando as rotas de migração [21].

Estudos realizados na Alemanha, Holanda, Dinamarca e Reino Unido demonstraram que os aerogeradores não representam nenhum problema acrescido para a deslocação das aves quando devidamente localizados (fora das rotas de migração e das áreas preferenciais de nidificação, por exemplo). Esta constatação é confirmada pela "Royal Society for the Protection of Birds", que encoraja a viragem em direcção às tecnologias de aproveitamento das energias renováveis, em particular a energia eólica, desde que sensatamente ponderadas a dimensão e localização dos parques [6].

Mais uma vez neste aspecto os pequenos aerogeradores não têm qualquer tipo de impacto ao nível das aves, devido à sua reduzida dimensão.

### *g. Interferências electromagnéticas*

Os aerogeradores, em alguns casos podem reflectir as ondas electromagnéticas. Isto implica que podem interferir e perturbar sistemas de telecomunicações. Estas interferências não são significativas, no entanto, é necessário efectuar estudos mais detalhados quando o parque se situa junto de aeroportos ou de sistemas de retransmissão [21].

### *h. Segurança*

Quanto a segurança das pessoas, tem-se verificado que os sistemas eólicos estão entre os sistemas de produção de energia eléctrica mais seguros, tendo sido registados apenas casos raros de pessoas feridas por pedaços partidos das pás ou por pedaços soltos de gelo [6,21,27].



**Figura 44 :** Turbina eólica que se partiu, projectando material [15]



**Figura 45 :** Pedacos de gelo projectados pela turbina eólica [27]



### 3.3. Soluções de Mercado

Graças aos avanços da tecnologia aplicada às turbinas eólicas, principalmente no que se refere a alternadores (imanes permanentes, sem escovas, etc.) e a rotores (aerodinâmica melhorada, fibras carbónicas termo-elásticas, dispositivos de auto-controlo, etc.), a geração eólica de electricidade apresenta-se hoje como uma ferramenta de enorme valor e ao alcance de qualquer pessoa que disponha de lugares com bons ventos.

No mercado mundial há uma grande variedade de aerogeradores que, no segmento da geração doméstica, vão desde os 50W até os 20kW de potência. Esta oferta de mercado permite ao cliente a possibilidade de resolver, praticamente todo o tipo de problemas de energia de uma habitação comum [7].

Os aerogeradores actuais podem ser instalados de forma independente ou formando sistemas híbridos de geração com outros elementos de energia renovável para carregar baterias, bombear água, aquecer líquidos e ambiente, etc.

As turbinas eólicas simples, contendo apenas controlo electrónico da potência e velocidade de rotação, têm um custo entre os 1500€/kW e 2500€/kW, enquanto que um kit completo que inclui turbina com controlo automático de frequência e tensão, torre, inversores, baterias, etc., custa em torno dos 5000€/kW.



Figura 46 : Micro-turbina eólica de eixo horizontal



Figura 47 : Micro-turbina eólica de eixo vertical, tipo Darrieus

Por exemplo, um pequeno aerogerador de 300W com 7kg de peso e um 1,1m de diâmetro do rotor, consegue, com uma média mensal da velocidade do vento a rondar os 5,56m/s, produzir diariamente cerca de 1300Wh. Este valor é suficiente por exemplo para que uma família rural possa ter iluminação, TV, rádio, bombear água e até um pequeno frigorífico [7].

### 3.4. Soluções em Desenvolvimento

Uma equipa de estudantes de engenharia da Universidade do Estado do Oregon, Estados Unidos, construiu o protótipo de um sistema de aquecimento de água que funciona inteiramente a partir do vento. Eles basearam-se em rascunhos feitos pelo seu professor Alan Wallace, falecido no ano passado [28].

No protótipo o vento é capturado por uma turbina eólica de eixo vertical, feita a partir de um tambor de aço. A turbina acciona um eixo que faz girar um conjunto de ímãs permanentes presos numa placa metálica. Os magnetos giram a uma pequena distância de uma placa de cobre, que se aquece devido à resistência magnética [28].

O calor é transferido para a água por meio de um sistema de serpentinas colado no lado oposto da placa de cobre [28].

Além da energia eólica, a turbina pode tirar energia de um fluxo de água, por exemplo, podendo ser montada na forma de uma roda d'água [28].

## 4. Energia Solar Térmica

A energia solar chega à superfície terrestre sob a forma de radiação electromagnética, que para se tornar útil para o Homem, tem de ser convertida noutra forma de energia. A energia solar, essencialmente pode dividir-se em dois tipos de energia, luz e calor [29].

A energia contida na radiação electromagnética pode ser convertida em energia útil, através da Bioconversão, da Fotoconversão e de Concentradores e Aquecedores Planos [29,30].

A bioconversão é utilizada essencialmente pelas plantas (fotossíntese), servindo para a produção das biomassas, como por exemplo a celulose, amidos, açúcares e óleos essenciais, que serão úteis ao Homem sob o ponto de vista energético [29,30].

A fotoconversão dá-se por exemplo quando, a conversão directa da energia solar em energia eléctrica é conseguida através da foto-ionização do cristal de um semi-condutor, que gera diferença de potencial eléctrico, quando excitado pelas partículas electromagnéticas vindas do Sol (fótons) [29].

O caso dos concentradores e aquecedores planos é os que neste caso têm particular interesse, porque são através destes que se faz o aquecimento de líquidos, aquecimento do ar, aquecimento de sólidos e a termoconversão.

No sector doméstico, a água quente é utilizada essencialmente em duchas e banhos de imersão, na lavagem de louça e da roupa, representando cerca de 50% do consumo de energia, com o correspondente peso na factura energética mensal das famílias [4,31].

Os equipamentos convencionais mais comuns utilizados no aquecimento da água são os esquentadores, caldeiras murais a gás, termoacumuladores a gás e eléctricos.

A utilização de colectores solares, em larga escala, poderá contribuir para a redução substancial da factura energética e do peso do sector no balanço energético global. A energia solar é um recurso endógeno gratuito que pode proporcionar uma importante poupança para os seus utilizadores e contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

A energia solar recebida pelo planeta terra, varia em função da curvatura do globo terrestre, inclinação do eixo de rotação e movimento de translação, que determinam as estações do ano, conforme isotérmicas (médias) maiores no equador (2.500 kWh/m<sup>2</sup>/ano) decrescendo em função da curvatura da terra, até 500 kWh/m<sup>2</sup>/ano, nas regiões polares, sofrendo influências dos mares, dos ventos, das superfícies sólidas e das distâncias orbitais [29].

No caso de Portugal recebe em média no plano horizontal, cerca de 1600 kWh/m<sup>2</sup>/ano de energia potencial anual ( $E_{PA}$ ). Através da equação seguinte pode calcular-se o potencial energético médio diário ( $E_{Pd}$ ) de aquecimento por unidade de área.

$N_d \rightarrow$  Número de dias num ano (365).

$$E_{Pd} = \frac{E_{PA}}{N_d} = \frac{1600}{365} \approx 4,384 \left[ \frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right] \quad (3)$$

É importante referir ainda que Portugal é o país da Europa com maior tempo de exposição solar. Atinge aproximadamente o valor de 3000 horas/ano, variável conforme a localização geográfica [31,32].

### 4.1. Colector Solar Térmico

O colector solar é a tecnologia mais comum e acessível de aproveitamento da energia solar térmica. Estes equipamentos permitem poupar normalmente até 70% da energia necessária para o aquecimento de água [23,33].

É o dispositivo responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica e é neste ponto que difere do painel fotovoltaico, o qual serve para gerar electricidade. São

muito utilizados no aquecimento de água de casas ou edifícios, hospitais, piscinas, para climatização de ambientes e processos industriais de aquecimento.

Um exemplo simples de um coletor solar é um carro fechado num dia sem nuvens, em que a eficiência de absorção de radiação directa é substancial. A luz do sol passa através dos vidros do carro e é absorvida pelo seu interior, sendo então transformada em calor. Os vidros do carro funcionarão como um isolante, minimizando as trocas de calor com o exterior, tal como um estufa [31].

Existem vários tipos de colectores solares, de modo a melhor se adaptarem às exigências de cada situação.

Os principais tipos de colectores solares são:

- Colectores Planos;
- Colectores Concentradores;
- CPC ou Colectores Concentradores Parabólicos;
- Colectores de Tubo de Vácuo.

Os colectores solares mais comuns em habitações domésticas variam a sua eficiência entre 40% e 80%, como se pode observar na figura 48.

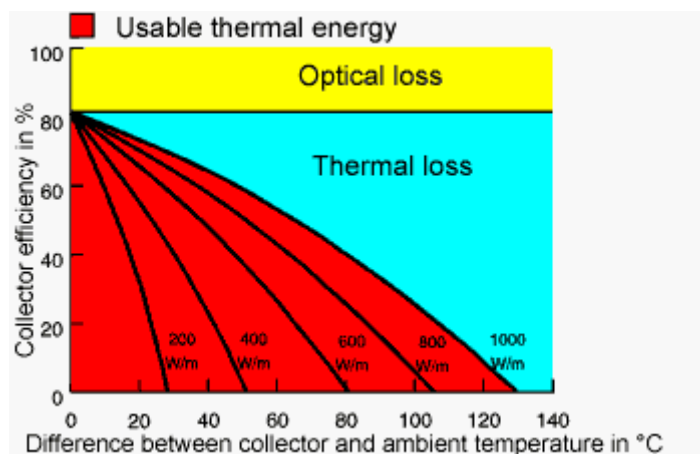


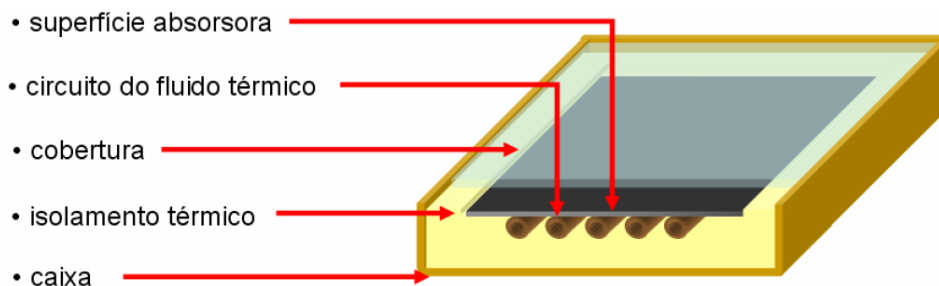
Figura 48 : Eficiência dos colectores solares

#### 4.1.1. Colectores Planos



Figura 49 : Colector solar plano

Os colectores solares planos são os mais comuns e baratos devido à sua simplicidade. Absorvem o calor do Sol, directamente numa superfície pintada de preto fosco (placa absorsora), concentrando essa energia, através do efeito estufa provocado pela cobertura transparente, transferindo-a para uma tubulação solidária com a placa preta, tudo isto envolto por uma caixa isolada [29].



**Figura 50 :** Constituintes de um coletor solar plano [34]

Este tipo de coletor destina-se à produção de água quente com temperaturas até os 80°C, dependendo do tipo de coletor, sendo que os melhores são equipados com termóstatos que regulam a circulação da água, como nos radiadores de automóveis, que só liberam a partir de determinada temperatura [29].

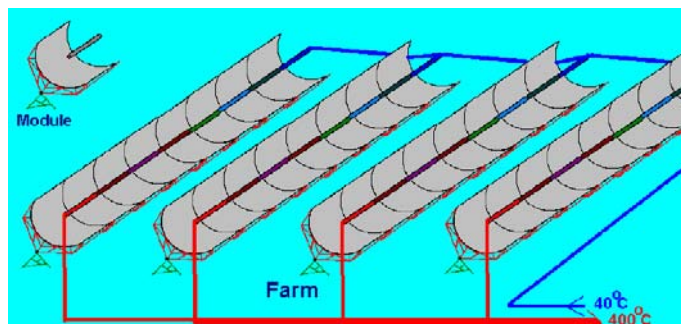
#### **4.1.2. Colectores Concentradores**



**Figura 51 :** Coletor concentrador

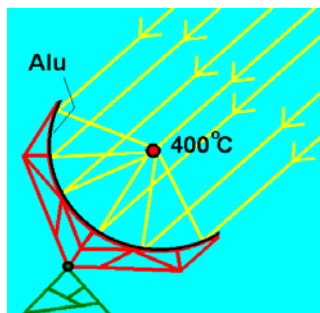
Os sistemas mais simples de concentradores parabólicos são os concentradores cuja forma é cilíndrica e diferenciam-se dos concentradores planos pela particularidade de concentrar a radiação incidente antes de esta chegar ao absorvedor. Estes são parabólicos somente numa dimensão e usualmente são alongados. Um concentrador parabólico cilíndrico é constituído por uma superfície espelhada encurvada de forma parabólica, que tem a função de encaminhar os raios solares para uma tubo de absorção [31].

Neste tubo circula o fluido aquecido, através de uma bomba auxiliar. Este fluido após atravessar o absorvedor é encaminhado para um permutador de calor, que permite trocas de calor entre o fluido e a água que se encontra armazenada num tanque de armazenamento térmico [31].



**Figura 52 :** Funcionamento de colectores solares concentradores em rede

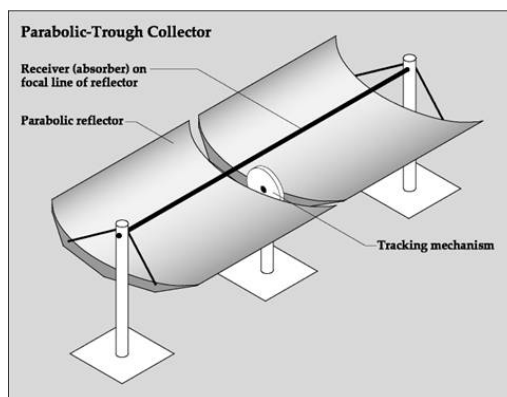
A razão pela qual este concentrador é cilíndrico é simples. Uma parábola é uma curva especial que tem um único ponto focal, onde se coloca a placa de absorção, pelo que toda a luz incidente é colectada nesse ponto. Usando estes sistemas parabólicos maximiza-se a razão de concentração de um colector, aumentando por isso a eficiência deste, pois toda a energia é focada somente num ponto [31].



**Figura 53 :** Esquema da reflexão da radiação solar no colector concentrador

No entanto estes concentradores têm uma limitação. Um concentrador parabólico cilíndrico apenas capta radiação directa o que, ao contrário dos restantes colectores, não permite fazer uso da radiação difusa. Entende-se por radiação directa a toda a luz que atinge o reflector paralelamente ao eixo da parábola [31].

De forma a minimizar a incapacidade de captar radiação difusa, é incluído neste equipamento um sistema que permite variar a posição do painel consoante a localização da fonte solar, aumentando inevitavelmente a performance do concentrador. No entanto, para certas condições climáticas, como é o caso do céu completamente nublado, não existe nenhuma solução que permita minimizar tal limitação, sendo por isso um factor crítico [31].



**Figura 54 :** Colector solar concentrador com sistema de orientação



Para este tipo de colectores solares podem ser obtidas temperaturas acima dos 300°C para boas eficiências [31].

Esta tecnologia apenas é rentável para sistemas em grande escala (Campos de colectores), pois o investimento é relativamente elevado para a necessidade energética e potência requeridas numa pequena instalação, podendo até nunca ser amortizado. Estes campos são constituídos por muitas filas de concentradores parabólicos móveis orientados segundo a direcção Norte-Sul. O princípio é sempre o mesmo, no entanto o fluido aquecido serve para gerar vapor sobreaquecido a alta temperatura (100 bar, 370°C) que posteriormente irá alimentar uma turbina/gerador para produzir electricidade. Depois do fluido passar pelos permutados de calor é arrefecido e recircula novamente pelos tubos de absorção. Nestas instalações o líquido é aquecido até uma temperatura próxima dos 400°C. Existem vários tipos de instalações deste género nos Estados Unidos com potência da ordem dos 14 a 80 MW [31].



**Figura 55 :** Campo de colectores solares concentradores [30]

#### **4.1.3. CPC ou Colectores Concentradores Parabólicos**



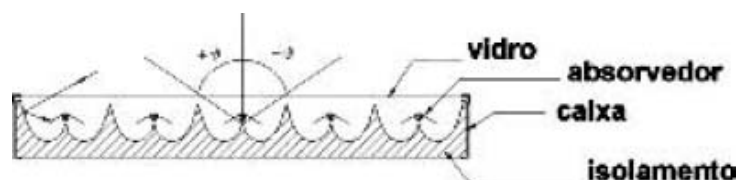
**Figura 56 :** Colector concentrador parabólico (CPC)

O desenvolvimento da óptica permitiu recentemente a descoberta de um novo tipo de concentradores (chamados CPC ou Winston) que combinam as propriedades dos colectores planos (podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão o que também permite a captação da radiação difusa) com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas (>70°C), como os concentradores convencionais do tipo de lentes [35].



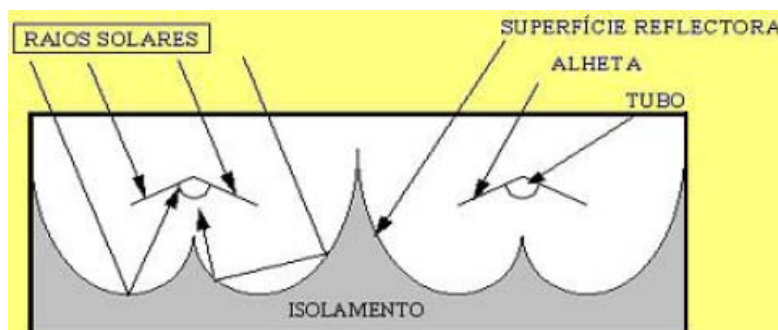
**Figura 57 :** Esquema de reflexão da radiação solar nos colectores CPC em função da orientação solar

A diferença fundamental entre estes colectores e os planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos CPC's a superfície absorvedora é constituída por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície reflectora [35].



**Figura 58 :** Esquema representativo de um colector CPC

A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas, já que o Sol incide na parte superior das alhetas e os raios que são reflectidos acabam por incidir na parte inferior das alhetas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido [35].



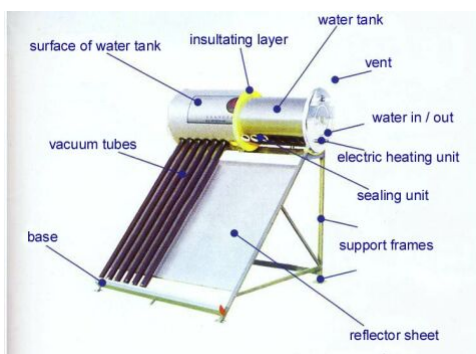
**Figura 59 :** Esquema de reflexão da radiação solar no CPC [34]

#### 4.1.4. Colectores de Tubos de Vácuo

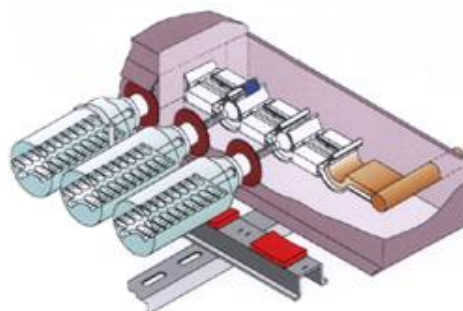


**Figura 60 :** Colector solar de tubos de vácuo

Os colectores de tubos de vácuo consistem geralmente em tubos de vidro transparente cujo interior contem tubos metálicos (absorvedores). A atmosfera dos tubos não contém ar, estando portanto em vácuo, o que elimina as perdas por convecção para o exterior, elevando assim o rendimento a altas temperaturas devido a menores coeficientes de perdas a eles associados [35].



**Figura 61 :** Sistema solar com tubos de vácuo



**Figura 62 :** Pormenor dos tubos de vácuo

No fundo a radiação depois de ser absorvida e transformada em calor, os tubos de vácuo vão conseguir mantê-la armazenada graças às propriedades isolantes do vácuo. Desta forma o calor não é perdido para o meio circundante. Para ter uma ideia das propriedades isolantes dos tubos de vácuo, quando a temperatura do tubo interior estiver a 150°C, o tubo exterior está a uma temperatura que permite tocar-lhe com a mão [36].



**Figura 63 :** Fotografia de tubos de vácuo

No interior do tubo de vácuo existe um tubo em cobre (heat pipe) cujo interior possui água destilada e aditivos especiais [36].



**Figura 64 :** Pormenor construtivo da extremidade do tubo de vácuo

Como é conhecido, o ponto de ebulição da água é de 100°C à pressão atmosférica, no entanto a temperatura de ebulição varia segundo uma relação directa com a pressão, ou seja, quanto menor for a pressão, menor será a temperatura a que a água entrará em ebulição. O tubo interior faz uso deste interessante princípio. A sua pressão interior é regulada para que o ponto de ebulição seja atingido em torno dos 30°C [36].

Desta forma, quando se atinge 30°C no interior do tubo, a água vaporiza e o vapor sobe até ao ponto mais alto do tubo, onde se localiza o condensador (heat transfer). A água fria da rede passa pelos vários condensadores do coletor solar absorvendo assim o calor fornecido por estes e desta forma produz-se a água quente. Por outro lado, o calor libertado pelo condensador faz baixar a sua temperatura interior, fazendo com que o vapor de água no seu interior se condense e, por gravidade, a água líquida volte à sua posição inicial na parte inferior do tubo, criando-se assim um ciclo de transferência de calor [36].



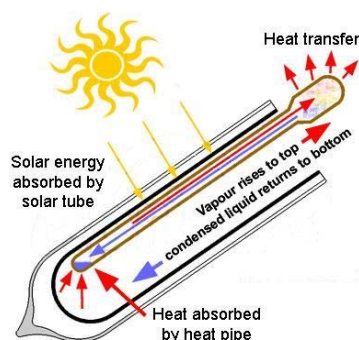


Figura 65 : Movimento do fluido dentro do tubo de vácuo [36]

Apesar de parecer um processo muito simples, a criação de um sistema como este requer um complexo processo de manufatura com mais de 20 processos e com um apertado controlo de qualidade, tornando este sistema o mais caro [36].

São normalmente utilizados quando a temperatura desejada se situa entre os 80°C e os 150°C [31].

Na tabela seguinte estão indicados alguns preços referência para os vários tipos de colectores solares.

Tabela 4 : Preços referência dos colectores solares por tipo

Tipo de Colector	Custo do Investimento [€/m <sup>2</sup> ]
Plano convencional	275
Concentradores	315
CPC	300
Tubos de vácuo	437

## 4.2. Sistema de Aquecimento Solar de Água

Em instalações domésticas, é prática comum intercalar no sistema um aquecedor eléctrico por resistência com termóstatos para manter a água na temperatura desejada e aquecê-la nas épocas chuvosas ou nubladas [29].



Figura 66 : Esquema de reservatório acumulador térmico

Um sistema convencional de aquecimento de água por energia solar é composto por placas colectoras e reservatório térmico [22,28,29].

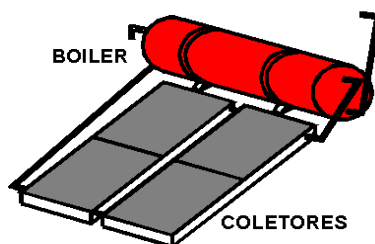
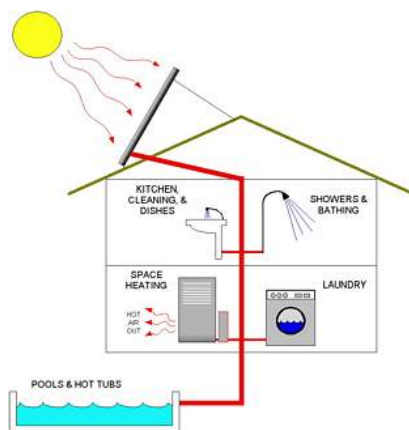


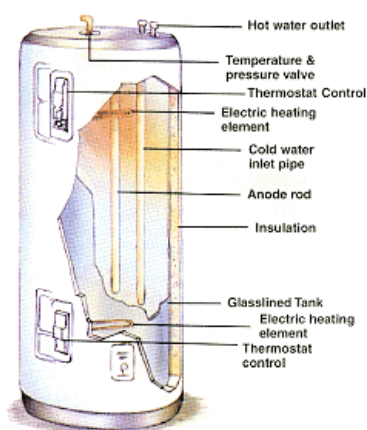
Figura 67 : Representação de sistema de aquecimento de água solar simples [29]

As placas colectoras são as responsáveis pela absorção da radiação solar, transmitindo a sua energia já sob a forma de calor para a água que circula em tubagens normalmente de cobre [29].



**Figura 68 :** Representação de sistema de aquecimento solar de água numa habitação

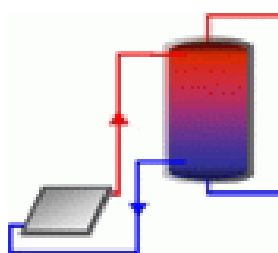
O calor resultante da conversão térmica da radiação solar é armazenado num reservatório térmico, que tem como particularidade fundamental estar bem isolado termicamente, normalmente com poliuretano expandido, de modo a ter o mínimo de perdas possíveis e manter a temperatura da água, para estar disponível a qualquer hora do dia.



**Figura 69 :** Representação de reservatório térmico

A ligação e transferência de calor, entre o coletor solar e o reservatório térmico, são efectuadas por um circuito hidráulico, que poderá ter duas configurações possíveis, Circuito Directo ou Circuito Indirecto.

**Circuito directo** – o fluido que circula nos colectores solares é a água de consumo [33].



**Figura 70 :** Esquema de circulação da água em circuito directo [33]

**Circuito indirecto** – nos colectores circula um determinado fluido térmico, em circuito fechado e com permuta térmica para o circuito de consumo (secundário) num permutador de calor interior ou exterior ao depósito [33].

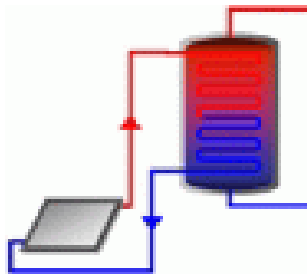


Figura 71 : Esquema de circulação da água em circuito indirecto [33]

A circulação do fluido pelo colector pode ser realizada de duas formas também, sendo uma chamada de Circulação Natural ou Termossifão e a outra de Circulação Forçada ou Bombeada.

**Circulação em Termossifão** – o fluido térmico no colector, quando aquecido pelo Sol, torna-se menos denso, subindo para o depósito e "empurrando" o fluido mais frio, forçando-o a tomar o seu lugar, descendo, para subir novamente quando, por sua vez for aquecido [33,35].

Estes sistemas são compostos pelo colector solar, depósito acumulador, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios [31,33,35].

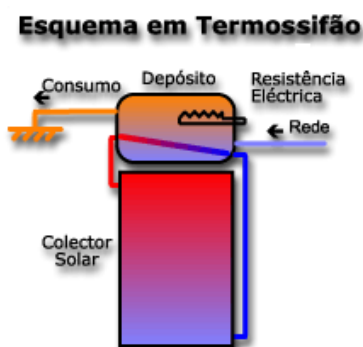


Figura 72 : Esquema de circulação em termossifão ou natural [33,35]

**Circulação Forçada** – nas situações em que não é viável a colocação do depósito acima da parte superior dos colectores e para os grandes sistemas em geral é necessário usar bombas electrocirculadoras para movimentar o fluido térmico [31,33,35].

Estes sistemas são compostos pelo colector solar, depósito acumulador, bomba, controlo diferencial, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios [33,35].

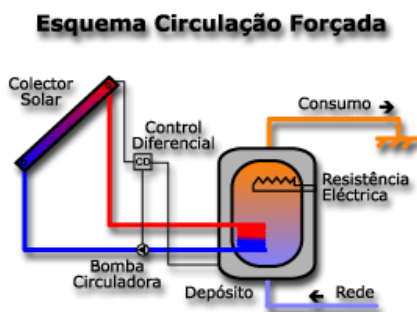


Figura 73 : Esquema de circulação forçada ou bombeada [33,35]

### 4.3. Integração em Edifícios

No novo RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), os edifícios vão ter um "orçamento energético" para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS (águas quentes sanitárias). O contributo das energias renováveis não é contabilizado nesse "orçamento". Portanto, o recurso a colectores solares de produção de AQS vai ser uma forma de conseguir satisfazer os requisitos do RCCTE. Dado que os edifícios passarão também a ter um "certificado energético", o aquecimento de águas sanitárias com colectores vai tornar os edifícios melhor classificados em termos de consumos de energia, o que lhe virá a dar um maior valor comercial. Neste âmbito, o Programa para a Eficiência Energética em Edifícios (P3E) tem tido um papel importante, como instrumento de actuação, sobre o lado da procura, para uma utilização mais eficiente de energia nos sectores residencial e de serviços [4].

A integração de uma instalação solar térmica num edifício já construído apresenta algumas dificuldades, na maior parte das vezes de fácil resolução, geralmente resultantes da localização e montagem dos colectores e depósito, da colocação de tubagens e cabos eléctricos e da compatibilidade com o sistema de apoio [4].

Uma instalação solar pode envolver a colocação de alguns equipamentos em locais que eventualmente possam ficar visivelmente transformados. No entanto, é possível e é boa prática ter em conta a integração daqueles equipamentos nos locais onde se instalam, para minimizar o impacto arquitectónico [4].

A orientação óptima (em Portugal) para os sistemas solares é o Sul e a inclinação de 38°. No entanto, um desvio de até 45° para Este ou Oeste não prejudica mais de 5%, desde que a inclinação se reduza para cerca de 25°. O sistema pode instalar-se respeitando a inclinação do telhado da casa (isto minimiza o possível impacto visual do sistema na arquitectura do imóvel), assegurando um ângulo mínimo de 8°. Os ângulos com a horizontal superiores a 35° favorecem o Inverno e os ângulos inferiores a 35° favorecem o Verão, pelo que, em instalações de uso estival, a inclinação deverá ser de 30° e, para instalações de uso anual, a inclinação deverá ser de 45°, sendo admissíveis desvios de  $\pm 15^\circ$  para qualquer dos casos [4].

Nos casos em que o sistema de captação de energia solar não pode ser orientado a Sul (i.e., para Oeste ou Este), ângulos menores com a horizontal (menor inclinação) beneficiam a captação. Havendo possibilidade de escolher a orientação, o lado do Oeste é preferível devido à possibilidade de ocorrência de neblinas matinais que podem surgir em zonas litorais. A instalação de sistemas do tipo monobloco é a opção que, em princípio, se apresenta como mais prática para moradias. A simplicidade de instalação em terraços e telhados orientados a Sul e a integração do depósito e do colector numa unidade compacta são vantagens importantes deste tipo de sistema. No entanto, algumas das soluções podem não ser compatíveis com o sistema monobloco, tanto em termos de instalação, como por razões estéticas. Nesses casos, poderá ser mais adequada a utilização de sistemas não compactos (colectores e depósito separados) [4].

## 5. Políticas Energéticas

No âmbito da produção de energia, existem muitas desvantagens em ser dependente da importação de petróleo e seus derivados, assim como das suas flutuações do preço. As emissões de CO<sub>2</sub> e a deposição de lixo nuclear, está a tornar-se cada dia que passa um problema mais grave que afecta o ambiente [14].

Devido a todos os problemas relacionados com a produção de energia, muitos países industrializados, estão a fazer esforços no sentido de desenvolver, criar e implementar tecnologias que permitam tirar o máximo partido das energias renováveis disponíveis, nomeadamente, a energia solar, biomassa, hídrica e eólica [14].

A Companhia Shell prevê que um terço da energia consumida no mundo seja proveniente de fontes de energia renovável no ano de 2050. A ambição de instalar energia eólica é grande. Alguns países impingiram metas a eles próprios de conseguirem que (por exemplo) 9% de toda a electricidade gerada fosse de fontes renováveis até 2010. Sendo que metade desta percentagem deverá ser proveniente de energia eólica [14].

Ainda assim esta ambição é algo modesta quando comparada com os objectivos propostos pela União Europeia. Grande parte dos países da União Europeia, já tem percentagens de energia renovável superiores, devido à grande disponibilidade de energia hídrica e à grande utilização da biomassa e energia eólica. Na União Europeia dos 15, no ano de 2010, 22% de toda a produção de electricidade deverá ser produzida por fontes de energia renovável [37, 14].

A União Europeia está constantemente a encorajar todos os seus membros, incluindo os novos membros a cumprirem este objectivo [14].

Em finais de 2001, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001, de 19 de Outubro, foi lançado o programa Eficiência Energética e Energias Endógenas, Programa E4, o qual reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal, entre as quais a promoção do recurso a colectores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria, com o programa Água Quente Solar para Portugal (AQSpP) [4].

O objectivo específico do programa AQSpP é a criação de um mercado sustentável de energia solar, com ênfase na vertente "Garantia da Qualidade", e cerca de 150 000m<sup>2</sup> de colectores por ano, que poderá conduzir a uma meta da ordem de 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores instalados e operacionais até 2010 [4].

## **6. Armazenamento de Energia**

Como o comportamento do vento e a disponibilidade de radiação solar não são estáveis, pode ser necessário a utilização de um sistema de armazenamento de energia que garanta o fornecimento adequado à demanda [8].

Nos casos em que a energia eólica é utilizada para complementar a produção de energia convencional, a energia gerada é injectada directamente na rede eléctrica, não sendo necessário o armazenamento de energia, bastando que o sistema eléctrico convencional de base esteja dimensionado para atender à demanda durante os períodos de calmaria [8].

Quando a energia eólica é utilizada como fonte primária de energia, uma forma de armazenamento torna-se necessária para adaptar o perfil aleatório de produção energética ao perfil de consumo, guardando o excesso de energia durante os períodos de ventos de alta velocidade, para usá-la quando o consumo não puder ser atendido por insuficiência de vento [8].

O mesmo se passa com a energia solar, uma vez que a radiação solar não está presente com a intensidade necessária sempre que é preciso energia.

Através do armazenamento de energia, consegue-se duas grandes vantagens, sendo uma a já referida, de guardar a energia quando esta está em abundância, ou seja quando se tem bastante vento e radiação solar, para depois compensar os chamados tempo mortos. Outra vantagem é conseguirmos reduzir substancialmente a potência de pico dos sistemas produtores, neste caso as turbinas eólicas e os painéis solares, visto que se está a produzir energia para armazenar numa base de tempo, por exemplo diária, enquanto que os sistemas que produzem energia para consumo instantâneo têm que ter uma potência suficiente para compensar a demanda máxima instantânea de energia [38].

As formas mais conhecidas de armazenamento de energia eólica são sob a forma de energia eléctrica em baterias e sob a forma de energia potencial gravítica através da bombagem de água [8,11]. No entanto existe uma forma de armazenar energia ainda pouco utilizada quando se fala de energia eólica, mas com grande potencial de crescimento, visto que a maior parte da energia consumida nas habitações é sob a forma de calor. Logo a solução de armazenar energia sob a forma de água quente, torna-se muito interessante [11].

## 6.1. Sistema de armazenamento térmico de energia

O sistema de armazenamento que melhor se adequa ao aproveitamento do misto de energia eólica e solar térmica é o armazenamento térmico de água quente, também chamado de termoacumulador.

Um termoacumulador é um sistema simples, constituído por um reservatório bem isolado, normalmente com poliuretano expandido, que contém uma entrada de água fria da rede e uma saída de água quente para consumo, um permutador de calor, normalmente em forma de serpentina de cobre de modo a obter um coeficiente de transmissão de calor superior, por onde circula o fluido quente proveniente dos painéis solares com o objectivo de aquecer a água de consumo, uma resistência eléctrica auxiliar de aquecimento, um termóstato para controlo da temperatura da água e uma válvula de segurança para assegurar que a pressão no interior do reservatório não ultrapassa um determinado valor de segurança.

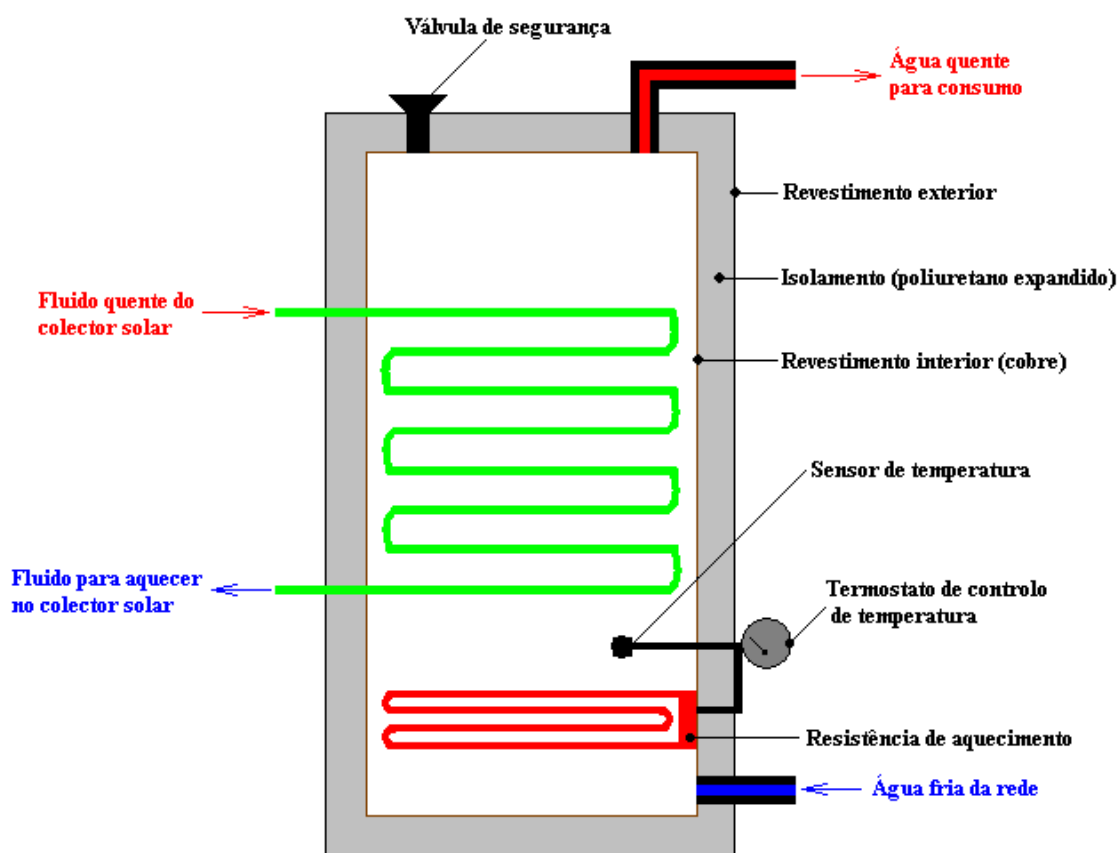


Figura 74 : Esquema dos constituintes de um acumulador térmico

Estes sistemas de armazenamento têm uma eficiência relativamente elevada, conseguindo manter a água quente durante cerca de três dias, sem baixar significativamente a temperatura, contribuindo assim para acumular energia de uma forma eficiente, para consumo a curto prazo.

## 7. Projectar um Sistema Híbrido de Aquecimento de Água

O aquecimento de água através do sistema híbrido funciona aproveitando em simultâneo a energia solar térmica e a energia eólica. A energia eléctrica da rede é utilizada como recurso na falta de radiação solar e de vento.

O sistema pode ser dividido em quatro partes, sendo elas o armazenamento térmico, o colector solar, a turbina eólica e a unidade de controlo electrónico (ECU – Electronic Unit Control).

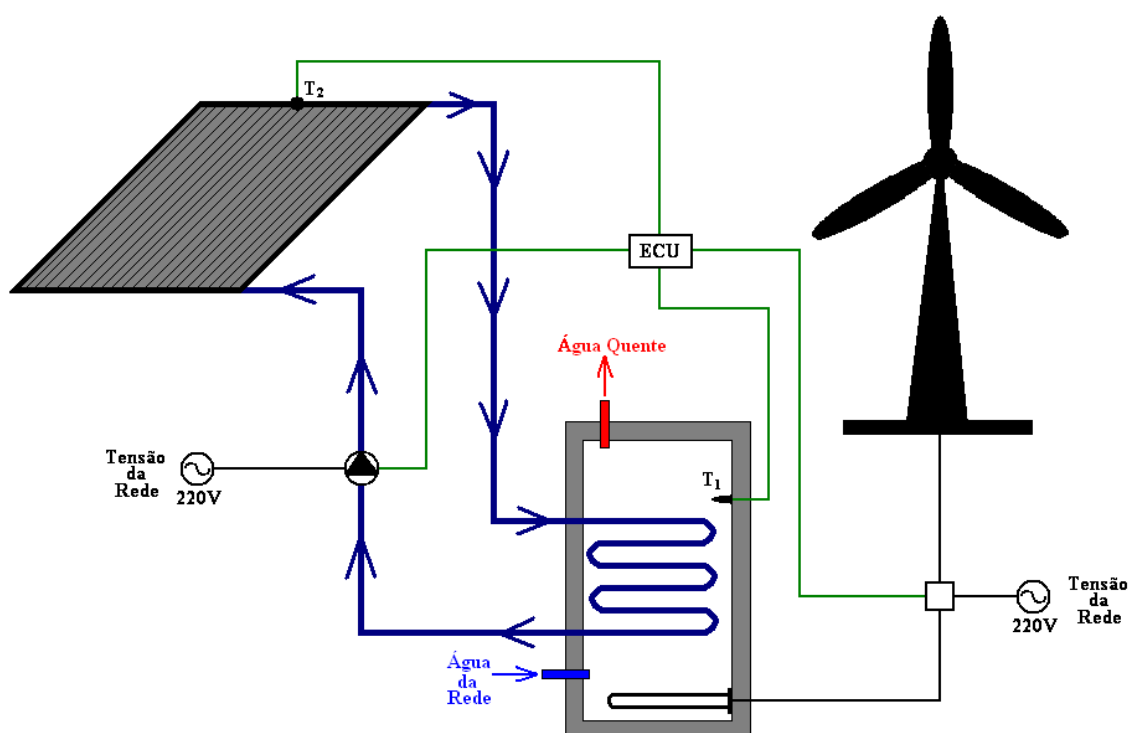


Figura 75 : Sistema híbrido de aquecimento de água

O aquecimento da água contida no reservatório térmico é feito com recurso ao colector solar e ao aerogerador em simultâneo e consoante as ordens fornecidas pelo ECU, ordens estas que dependem da temperatura da água no interior do reservatório ( $T_1$ ), da temperatura da água no colector solar ( $T_2$ ), da temperatura mínima definida para a água de armazenamento ( $T_{min}$ ) e da temperatura máxima ( $T_{max}$ ).

O aerogerador está ligado a uma resistência no interior do reservatório, que é activada conforme as ordens do ECU.

O colector solar aquece a água através de um sistema indirecto e com recurso a uma bomba de circulação do fluido, comandada pelo ECU.

Finalmente existe ainda uma ligação de tensão da rede à resistência de aquecimento, que é activada com ordem do ECU apenas como recurso em caso da radiação solar e do vento não serem capazes de garantir a temperatura da água desejada.

## 7.1. Cálculos de dimensionamento do armazenamento de energia

O dimensionamento do armazenamento de energia térmica é função de algumas variáveis que terão de ser determinadas ou admitidas, consoante a situação para a qual se está a fazer o cálculo.

No fundo o que se quer é dimensionar o volume de armazenamento necessário para uma determinada situação que foi previamente definida.

Os dados a definir previamente, são o volume de água consumido diariamente por pessoa à temperatura de consumo ( $V_C$ ), a temperatura a que se pretende consumir a água ( $T_C$ ), a temperatura da água da rede ( $T_R$ ) e a temperatura de armazenamento ( $T_A$ ), só depois poder-se-á calcular o volume de água à temperatura de armazenamento ( $V_A$ ) necessário para garantir um dia de consumo a uma pessoa.

De seguida está apresentada a dedução da fórmula que permite efectuar este cálculo.

$$\Leftrightarrow E_C = E_R + E_A \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow m_C \times c_p \times T_C = m_R \times c_p \times T_R + m_A \times c_p \times T_A \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow m = V \times \rho \Rightarrow V_C \times \rho \times T_C = V_R \times \rho \times T_R + V_A \times \rho \times T_A \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow V_R = V_C - V_A \Rightarrow V_C \times T_C = (V_C - V_A) \times T_R + V_A \times T_A \quad (7)$$

$$\Leftrightarrow V_C \times (T_C - T_R) = V_A \times (T_A - T_R) \quad (8)$$

$$\Leftrightarrow V_A = V_C \times \frac{(T_C - T_R)}{(T_A - T_R)} \quad [38] \quad (9)$$

- $E_C \rightarrow$  Energia da água consumida;
- $E_R \rightarrow$  Energia da água da rede utilizada;
- $E_A \rightarrow$  Energia da água armazenada utilizada;
- $c_p \rightarrow$  Calor específico da água a pressão constante;
- $\rho \rightarrow$  Densidade da água;
- $m_C \rightarrow$  Massa de água consumida;
- $m_R \rightarrow$  Massa de água da rede utilizada;
- $m_A \rightarrow$  Massa de água armazenada utilizada;
- $V_C \rightarrow$  Volume de água consumida diariamente por pessoa;
- $V_R \rightarrow$  Volume de água da rede utilizada;
- $V_A \rightarrow$  Volume de água utilizada à temperatura de armazenamento, por dia, por pessoa;
- $T_C \rightarrow$  Temperatura da água de consumo;
- $T_R \rightarrow$  Temperatura da água da rede;
- $T_A \rightarrow$  Temperatura da água armazenada.

Após efectuar o cálculo anterior, já se tem ideia do volume de água a determinada temperatura que é necessário armazenar, para consumir num dia por uma pessoa. Logo para obtermos o volume total necessário do reservatório de armazenamento térmico ( $V_T$ ), resta multiplicar o valor  $V_A$  pelo número de dias que se pretende ter reserva de água quente ( $n_d$ ), sendo tipicamente para um dia, pelo número de pessoas para o qual se está a fazer o cálculo ( $n_p$ ) e finalmente por um coeficiente de segurança ( $C_s$ ), que permite dar uma margem de manobra relativamente a uma possível extensão do período de armazenamento ou eventual maior consumo do que o previsto.

Na equação seguinte pode ver-se como efectuar o cálculo.



$$V_T = V_A \times n_d \times n_p \times C_S \quad (10)$$

$V_T \rightarrow$  Volume total de armazenamento térmico;

$n_d \rightarrow$  Número de dias que se pretende ter reserva de água quente;

$n_p \rightarrow$  Número de pessoas a que se destina a utilização da água;

$c_s \rightarrow$  Coeficiente de segurança, que permite um eventual acréscimo do tempo a que está destinada a reserva de água quente ou um eventual consumo acrescido.

Com o valor de  $V_T$ , obtêm-se finalmente o volume necessário que deverá ter o reservatório de armazenamento térmico, de modo a satisfazer os requisitos previamente definidos.

### 7.1.1. Exemplo de cálculo de armazenamento de energia

Será apresentado agora um exemplo de cálculo do volume total de armazenamento necessário para um caso fictício de uma moradia com as seguintes características:

- Consumo diário por pessoa a temperatura de consumo,  $V_C = 80L$ ;
- Temperatura desejada de consumo,  $T_C = 37^\circ C$ ;
- Temperatura da água da rede,  $T_R = 15^\circ C$ ;
- Temperatura da água armazenada,  $T_A = 60^\circ C$ ;
- Número de dias com reserva de água quente,  $n_d = 1$ ;
- Número de pessoas a viver na moradia,  $n_p = 5$ ;
- Coeficiente de segurança pretendido,  $C_S = 1,20$ .

Agora que já estão definidas as condições, aplica-se a equação (9), para obter o valor que uma pessoa irá consumir diariamente ( $V_A$ ) de água à temperatura de consumo.

$$\Leftrightarrow V_A = 80 \times \frac{(37 - 15)}{(60 - 15)} = 39,1 \left[ \frac{L}{Dia \times Pessoa} \right] \quad (11)$$

Foi determinado que em média uma pessoa, nestas condições, consome cerca de 39,1L de água à temperatura de consumo por dia, pelo que resta aplicar a equação (10), de modo a obter o valor final do volume de armazenamento necessário ( $V_T$ ) para conseguir responder às necessidades da família de cinco pessoas.

$$V_T = 39,1 \times 1 \times 5 \times 1,20 \approx 235[L] \quad (12)$$

Neste exemplo de dimensionamento de um reservatório de armazenamento térmico, chegou-se à conclusão de que seria necessário pelo menos um volume de 235L de água quente a  $60^\circ C$ , pelo que naturalmente neste caso se optava pelo reservatório standard com medida de volume igual ou imediatamente acima deste valor, que neste caso provavelmente seria de 250L.

## 7.2. Cálculo da energia necessária para aquecer o volume de água de consumo

Nesta fase do projecto, após ter calculado a quantidade de água quente consumida diariamente, o próximo passo é calcular a energia necessária para garantir o aquecimento do volume total da água contida no reservatório térmico.

Este valor da energia é muito importante para dimensionar posteriormente as potências dos equipamentos de aquecimento.

Para efectuar o cálculo é necessário saber o volume total do reservatório ( $V_T$ ), a temperatura da água da rede ( $T_R$ ), a temperatura da água armazenada ( $T_A$ ) e o número de dias para o qual foi calculado o reservatório ( $n_d$ ), no entanto estes valores já foram definidos no cálculo do volume de armazenamento térmico. Pelo que além destas variáveis apenas é necessário saber o calor específico da água a pressão constante, que é  $c_p = 4,186 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$ , a densidade da água, que é  $\rho = 1 \text{ kg/L}$  e definir um coeficiente de segurança ( $C_{S2}$ ), que permite compensar possíveis perdas térmicas no sistema e garantir uma margem de segurança na produção de energia.

A fórmula a utilizar para efectuar este cálculo é a seguinte:

$$E_{dc} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot C_{S2}}{n_d} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{dia}} \right] \quad (13)$$

$$E_{dc} = \frac{V_T \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_A - T_R) \cdot C_{S2}}{n_d} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{dia}} \right] \quad (14)$$

$$E_{dc} = \frac{V_T \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_A - T_R) \cdot C_{S2}}{3600 \cdot n_d} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right] \quad (15)$$

O valor de “ $E_{dc}$ ” significa a energia necessária diariamente para garantir o aquecimento do volume de água consumida diariamente desde a temperatura da água da rede até a temperatura de armazenamento.

A divisão pelo número de dias ( $n_d$ ) é precisamente para obtermos a energia necessária diariamente.

### 7.2.1. Exemplo de cálculo da energia necessária para aquecer o volume de água de consumo

Para efectuar este exemplo de cálculo pode pegar-se no exemplo apresentado no ponto 6.1.1 e continuar com a mesma situação para a qual já se calculou o volume total do reservatório ( $V_T$ ) e se conhece os valores da temperatura da água da rede ( $T_R$ ) e de armazenamento ( $T_A$ ).

Os valores já conhecidos são então os seguintes:

$$V_T = 235 \text{ L}$$

$$T_R = 15^\circ\text{C}$$

$$T_A = 60^\circ\text{C}$$

$$n_d = 1 \text{ dia}$$

$$c_p = 4,186 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$$

$$\rho = 1 \text{ kg/L}$$

$$C_{S2} = 1,20$$

Conhecidas todas as variáveis e constantes da equação (15), resta aplicar a mesma.

$$E_{dc} = \frac{235 \cdot 1 \cdot 4,186 \cdot (60 - 15) \cdot 1,20}{3600 \cdot 1} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right] \quad (16)$$

$$E_{dc} \approx 14,76 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right] \quad (17)$$

Para esta situação seria necessário um equipamento de aquecimento que fosse capaz de fornecer 14,76 kWh de energia por dia, de forma a garantir o aquecimento dos 235L de água diariamente.

### 7.3. Aquecimento Ambiente

Este sistema poderá ser aproveitado também para o aquecimento ambiente. Caso se pretenda tirar este partido, deverá saber-se ou calcular a carga térmica de aquecimento em cada mês ( $E_{aq\_1}$ ,  $E_{aq\_2}$ , ...,  $E_{aq\_12}$ ).

A carga térmica anual ( $E_{aq}$ ) é facilmente encontrada somando todas as cargas térmicas mensais, como representado na equação 18.

$$E_{aq} = \sum_{i=1}^{12} E_{aq\_i} \left[ \frac{kWh}{ano} \right] \quad (18)$$

É importante para efeitos de projecção da potência da turbina e área do colector solar ter uma energia média diária de aquecimento. A energia média diária de aquecimento ambiente ( $E_{aqd}$ ) pode ser facilmente obtida através da equação 19.

$$E_{aqd} = \frac{E_{aq} \cdot C_{s2}}{365} \left[ \frac{kWh}{dia} \right] \quad (19)$$

#### 7.3.1. Volume necessário de reservatório de água para armazenar energia de aquecimento ambiente

Se for pretendido, poderá ser calculado o volume de água necessário para a reserva de energia que garanta o aquecimento ambiente por um dia.

Este volume poderá ser calculado através da equação 20.

$$V_{aq} = \frac{E_{aqd} \cdot 3600 \cdot C_s}{\rho_A \cdot C_P \cdot \Delta T} [L] \quad (20)$$

Onde  $\Delta T$  representa o diferencial de temperatura entre a temperatura de armazenamento e a temperatura a que será utilizada a energia.

Este volume poderá ser armazenado juntamente ou em separado com o volume necessário para o consumo sanitário de água quente anteriormente calculado.

### 7.4. Energia média diária total necessária

A energia média diária total necessária é o ponto de partida para dimensionar a turbina eólica e o colector solar e poderá ser obtida da soma entre a energia necessária para o consumo de água sanitária ( $E_{dc}$ ) e a energia de aquecimento ambiente ( $E_{aqd}$ ), como na equação 21.

$$E_d = E_{dc} + E_{aqd} \left[ \frac{kWh}{dia} \right] \quad (21)$$

## 7.5. Dimensionamento e selecção da turbina eólica

Na fase de selecção e dimensionamento da turbina eólica, deverão ser analisados vários aspectos, nomeadamente o tipo de turbina pretendida, o vento disponível no local onde deverá ser instalada a turbina e a potência que deverá ter a turbina para conseguir satisfazer a produção de energia necessária diariamente, com base na velocidade média do vento disponível no respectivo local.

### 7.5.1. Selecção do tipo de turbina eólica

Na escolha do tipo de rotor, os principais factores a ter em conta é a estabilidade do vento e a sua velocidade, que no caso de ser muito instável, principalmente a nível direcciona, é recomendado a opção do rotor de eixo vertical que é menos sensível à mudança de direcção do vento. Já se o vento for mais estável, o rotor de eixo horizontal é mais aconselhado devido ao seu maior rendimento.

No que diz respeito à velocidade do vento, para velocidades do vento baixas (abaixo de 6m/s) é recomendável a turbina de eixo vertical de Savonius, porque este tipo de turbinas apresenta um maior binário a baixas velocidades do vento e desde logo um melhor comportamento a velocidade baixas do que qualquer outro tipo de turbina. Por outro lado quando a velocidade do vento é alta (acima de 6m/s) é recomendável a utilização de uma turbina de eixo horizontal caso o vento seja direccionalmente estável ou uma turbina de eixo vertical tipo Darrieus caso o vento seja direccionalmente muito instável, visto estas funcionarem melhor a velocidades elevadas e apresentarem um melhor rendimento.

De referir ainda que em locais onde o vento seja extremamente forte (acima de 20m/s), ou onde seja frequente a ocorrência de tempestades, é recomendado a utilização de uma turbina de eixo vertical do tipo Savonius, porque esta é mais robusta e resiste melhor a ventos fortes, conseguindo sempre produzir energia, ao contrário das turbinas de eixo horizontal que a partir de uma certa velocidade do vento, por razões de segurança desactivam a produção de energia.

No entanto um terceiro factor deverá ser tomado em consideração, que é o design e integração da turbina, podendo este ser decisivo na selecção da turbina em situações que não existe diferença considerável de rendimento entre dois tipos de turbina.

De seguida está representado na figura 76 um gráfico resumo de selecção do tipo de turbina eólica em função da velocidade média do vento e da estabilidade direcciona.

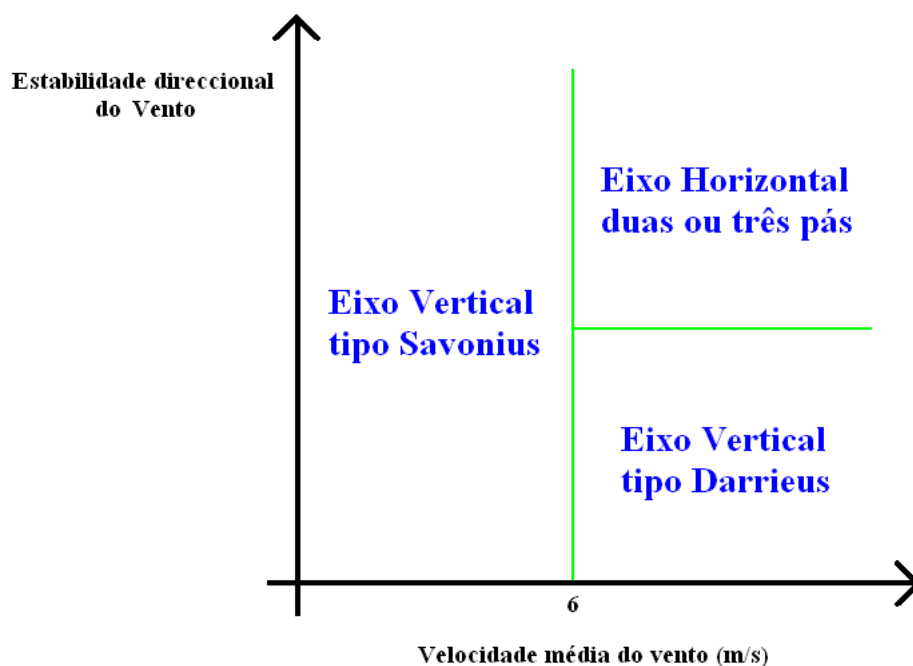


Figura 76 : Gráfico de selecção do tipo de turbina em função da velocidade e estabilidade do vento

### 7.5.2. Cálculo da velocidade média do vento na altura pretendida

Um estudo fundamental na análise de viabilidade de uma turbina eólica é a velocidade média do vento no local de instalação da turbina.

Como se sabe a produção de energia por parte da turbina depende fortemente da intensidade do vento, pelo que se deve obter informações minimamente fiáveis, nomeadamente as velocidades médias do vento, por exemplo numa base mensal, durante os 12 meses do ano, que é aquela que se utilizará neste caso na estimativa da produção mensal e anual de energia por parte da turbina.

A altura a que for efectuada a medição da velocidade do vento deverá ser registada, para depois ser possível estimar a velocidade do vento na altura a que a turbina será instalada.

Para maior precisão na estimativa, o local onde a velocidade do vento é medida deverá ser o mais próximo possível do sítio a instalar a turbina.

Esta estimativa da velocidade do vento numa altura diferente daquela que foi medida é possível com base na seguinte equação:

$$v_2 = v_1 \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^n \quad [m/s] \quad [9,16,17] \quad (22)$$

Onde:

- $v_1 \rightarrow$  Velocidade média do vento medida;
- $v_2 \rightarrow$  Velocidade média do vento à altura de instalação da turbina;
- $h_1 \rightarrow$  Altura do solo a que foi medida a velocidade do vento;
- $h_2 \rightarrow$  Altura do solo que será instalada a turbina;
- $n \rightarrow$  Coeficiente dependente da rugosidade da superfície, com os valores apresentados na tabela 5.

**Tabela 5 :** Coeficiente “n” dependente da rugosidade da superfície [9]

Tipo de Superfície	n
Superfície do oceano, areia	0,10
Terra, mato baixo	0,16
Pequenos arbustos, mato alto	0,18
Arbustos grandes, pequenas árvores, aldeias	0,20
Árvores grandes, cidades	0,30

### 7.5.2.1. Exemplo de cálculo da velocidade do vento na altura pretendida

Em primeiro lugar será definida uma situação, com os seguintes dados:

- $v_1 = 4,5 \text{ m/s}$ ;
- $h_1 = 2\text{m}$ ;
- $h_2 = 10\text{m}$ ;
- $n = 0,20$ .

Neste suposto caso, foi medida uma velocidade do vento de 4,5m/s a uma altura de 2m numa aldeia e pretende-se estimar qual a velocidade do vento a uma altura de 10m, sendo esta a altura que a turbina será colocada no cima de uma casa.

Para o cálculo é aplicado então a equação (22):

$$v_2 = 4,5 \cdot \left(\frac{10}{2}\right)^{0,20} \approx 6,21 \text{ m/s} \quad (23)$$

Esta velocidade do vento  $v_2 = 6,21\text{m/s}$  obtida é aquela que deverá entrar na estimativa de produção de energia por parte da turbina.

### 7.5.3. Cálculo da potência necessária da turbina

Neste momento apenas falta estimar a potência necessária da turbina, de modo a concluir a selecção e dimensionamento da mesma.

A selecção da turbina terá como critérios de escolha a nível da potência, a quantidade de energia eólica necessária diariamente ( $E_e$ ) e a velocidade média anual do vento no local a instalar a turbina ( $v_2$ ).

A energia eólica necessária diariamente ( $E_e$ ) pode ser calculada com base na energia necessária diariamente ( $E_d$ ) e no factor  $\gamma_e$ , que varia entre 0 e 1, e representa a fracção de energia eólica produzida em relação à energia total necessária e é calculada através da equação (24).

$$E_e = E_d \cdot \gamma_e \left[ \frac{Wh}{dia} \right] \quad (24)$$

Após determinado  $E_e$ , facilmente se encontra no mercado uma turbina que para a velocidade média do vento ( $v_2$ ), consiga fornecer a energia  $E_e$  diariamente.

Contudo de modo a facilitar a procura, foi efectuado um estudo exaustivo ao comportamento de 63 turbinas eólicas, com o auxílio do software RETScreen International, com o objectivo de determinar uma curva generalizada da produção de energia das turbinas eólicas em função da velocidade média do vento.

Esta curva permite calcular a potência que deverá ter a turbina (P), para ser capaz de produzir uma determinada potência média ( $P_{me}$ ) necessária com uma velocidade média do vento ( $v_2$ ).

A potência média eólica ( $P_{me}$ ) é calculada com base na energia eólica necessária diariamente ( $E_e$ ) e segundo a seguinte equação:

$$P_{me} = \frac{E_e}{24} [W] \quad (25)$$

Existe ainda um factor importante neste cálculo, que é a velocidade nominal ( $v_n$ ) a que a turbina atinge a potência para que foi projectada, por defeito poderá ser usado o valor 12,5m/s, visto este ser bastante comum. Caso se pretenda verificar o cálculo da potência para um modelo de turbina em particular que já se conheça o seu valor de velocidade nominal, então utiliza-se esse valor.

De seguida apresenta-se as curvas de comportamento que foram encontradas com base na melhor aproximação a um comportamento generalizado de várias turbinas, em função da velocidade média do vento ( $v_2$ ).

- Para  $v_2$  no intervalo  $[0;5[$ , tem-se:

$$P = \frac{P_{me} \cdot (0,85 \cdot v_n)^3}{1,6 \cdot v_2^3} [W] \quad (26)$$

- Para  $v_2$  no intervalo  $[5;8[$ , tem-se:

$$P = \frac{P_{me} \cdot (0,85 \cdot v_n)^3}{8 \cdot v_2^2} [W] \quad (27)$$

- Para  $v_2$  no intervalo  $[8;v_n]$ , tem-se:

$$P = \frac{P_{me} \cdot (0,85 \cdot v_n)^3}{64 \cdot v_2} [W] \quad (28)$$

Para velocidades do vento médias superiores a  $v_n$ , a potência é a mesma do que se a velocidade média fosse igual a  $v_n$ .

Obtido o valor da potência da turbina ( $P$ ), consegue-se facilmente procurar no mercado uma turbina com a potência semelhante à calculada que forneça os valores de energia pretendidos.

#### 7.5.3.1. Exemplo de cálculo da potência necessária da turbina

Continuando no seguimento do exemplo apresentado neste trabalho, onde já se obteve o valor de energia necessária diariamente ( $E_d$ ), deverá ser admitida agora a percentagem de energia eólica desejada ( $\gamma_e$ ) e aplicar a equação (24), para determinar o valor de energia eólica ( $E_e$ ) que a turbina terá de corresponder diariamente.

Dados para simulação do problema:

- $E_d = 14,76$  [kWh];



- $\gamma_e = 0,60$ ;

Aplicando agora a equação 24:

$$E_e = 14,76 \cdot 0,60 \cdot 1000 = 8856 \left[ \frac{Wh}{dia} \right] \quad (29)$$

Depois de determinada a energia eólica diária ( $E_e$ ), aplica-se a equação (25) de modo a determinar a potência média ( $P_{me}$ ).

$$P_{me} = \frac{8856}{24} = 369 [W] \quad (30)$$

Finalmente já com a potência média calculada ( $P_{me}$ ) e sabendo que a velocidade média do vento ( $v_2$ ) é de 6,21m/s, aplica-se a equação (27) de modo a determinar a potência aproximada que deverá ter a turbina eólica ( $P$ ).

Para aplicar a equação (27) apenas falta determinar um parâmetro, que é a velocidade nominal ( $v_n$ ) e poderá ser admitida como 12,5m/s.

$$P = \frac{369 \cdot (0,85 \cdot 12,5)^3}{8 \cdot 6,21^2} \approx 1435 [W] \quad (31)$$

A potência calculada necessária para a turbina eólica é de 1435 [W], pelo que deverá ser adoptada a turbina à venda no mercado com potência mais aproximada e que através das suas especificações garanta uma produção diária média de energia de 8856 [Wh], com uma velocidade média do vento de 6,21m/s.

## 7.6. Dimensionamento do colector solar

O dimensionamento do colector solar é relativamente simples após ter concluído o cálculo da energia necessária diariamente ( $E_d$ ).

O tipo de colector solar deverá ser escolhido principalmente com base na temperatura a que for pretendida o aquecimento da água. A nível doméstico, para aquecimento de águas sanitárias em que a temperatura de armazenamento pretendida ronda os 60°C, o tipo de colector que apresenta melhor relação preço/rendimento é o colector solar plano coberto, pelo que a escolha deverá recair sobre este tipo de colector se o objectivo for aquecimento de águas sanitárias.

No caso de aquecimento de águas para piscinas ou aquecimento ambiente, em que as temperaturas são inferiores a 40°C normalmente, o tipo de colector mais indicado é o colector solar plano descoberto.

Quando se pretende água quente para qualquer outra actividade ou processo, em que seja necessário temperaturas entre 80°C e 150°, a escolha deverá recair nos colectores de Tubos de Vácuo ou nos colectores CPC e finalmente se o objectivo for temperaturas acima dos 150°C os Concentradores são a opção a ter em conta, visto estes conseguirem temperaturas capazes inclusive de produzir vapor sobreaquecido a elevadíssimas temperaturas.

Supondo neste momento que já fora calculado o valor da energia necessária diariamente ( $E_d$ ), deverá agora ser aplicado o factor ( $\gamma_s$ ) que representa a fracção de energia solar, segundo a equação (32), de modo a determinar a energia solar diária média ( $E_s$ ) que o colector solar deverá produzir.

$$E_s = E_d \cdot \gamma_s \left[ \frac{Wh}{dia} \right] \quad (32)$$

O potencial médio anual de energia solar por metro quadrado recebido na terra ( $E_{pA}$ ) varia consoante a localização geográfica, e deverá ser considerado o valor mais adequado conforme a localização dos colectores solares e sua orientação. Em Portugal o valor médio da energia solar por metro quadrado recebida anualmente é de 1600 kWh/(m<sup>2</sup>·ano).

Com o valor da energia solar média por metro quadrado recebida anualmente, facilmente através da equação (33) se consegue determinar a energia solar média por metro quadrado recebida diariamente ( $E_{pd}$ ).

$$E_{pd} = \frac{E_{pA} \cdot 1000}{365} \left[ \frac{Wh}{m^2 \cdot dia} \right] \quad (33)$$

Finalmente com o objectivo de determinar a área de colector necessária ( $A_c$ ) para satisfazer as necessidades energéticas solares diárias calculadas previamente ( $E_s$ ), aplica-se a equação (34), onde entra um outro factor muito importante, que é o rendimento global do colector solar ( $\eta_c$ ), rendimento este que varia normalmente entre os 40% e os 80%, dependendo do colector.

$$A_c = \frac{E_s}{E_{pd} \cdot \frac{\eta_c}{100}} \left[ m^2 \right] \quad (34)$$

O valor de  $A_c$  é a área mínima de colectores solares que deverá ser instalada para responder às necessidades de energia  $E_s$ , no local para o qual foi feito o cálculo.

### 7.6.1. Exemplo de dimensionamento de um colector solar

Neste exemplo de dimensionamento vai utilizar-se o valor de  $E_d$  já calculado num exemplo anterior, que é de 14.760 [Wh/dia]. Utilizar-se-á ainda uma percentagem de energia solar de 60% ( $\gamma_s=0,6$ ). Aplica-se então a equação (32):

$$E_s = 14760 \cdot 0,60 = 8856 \left[ \frac{Wh}{dia} \right] \quad (35)$$

Continuando o raciocínio e atribuindo como o valor médio de energia solar recebida anualmente por metro quadrado ( $E_{pA}$ ) em Portugal 1600 [kWh/m<sup>2</sup>] e aplicando a equação (33), calcula-se  $E_{pd}$ .

$$E_{pd} = \frac{1600000}{365} \approx 4384 \left[ \frac{Wh}{m^2 \cdot dia} \right] \quad (36)$$

Finalmente conhecendo o valor do rendimento do colector solar ( $\eta_c$ ), que pode ser neste exemplo atribuído o valor de 0,60, resta aplicar a equação (34).

$$A_c = \frac{8856}{4384 \cdot 0,60} \approx 3,37 \left[ m^2 \right] \quad (37)$$

Obteve-se para este exemplo que seria necessário pelo menos 3,37 [m<sup>2</sup>] de área de colector solar para responder às necessidades.

## 7.7. Dimensionamento da resistência auxiliar

Devido ao facto das energias renováveis em estudo neste trabalho terem um carácter imprevisível, ou seja, nunca se sabe quando o sol ou o vento estão presentes com a intensidade necessária, torna-se necessário haver um sistema auxiliar de aquecimento da água.

Neste caso o sistema auxiliar mais indicado, devido à sua simplicidade e fácil implementação no sistema, é uma resistência eléctrica de aquecimento ligada à rede de electricidade da habitação e comandada pelo ECU.

Esta resistência deve ser dimensionada em termos de potência com base nos valores previamente calculados e ou admitidos do volume do reservatório térmico ( $V_T$ ), temperatura de armazenamento ( $T_A$ ) e temperatura da água da rede. Um factor a ser admitido é o tempo desejado ( $\Delta t$ ) para que a resistência seja capaz de sozinha aquecer todo o volume de água do reservatório desde a temperatura da água da rede, até a temperatura de armazenamento.

Para determinar então a potência da resistência auxiliar ( $P_R$ ), aplica-se a equação (38).

$$P_R = \frac{V_T \cdot \rho_A \cdot c_P \cdot (T_A - T_R)}{\Delta t} [W] \quad (38)$$

### 7.7.1. Exemplo de dimensionamento da resistência auxiliar

Para exemplificar o dimensionamento da resistência auxiliar, vai tomar-se os valores calculados nos exemplos anteriores para o volume do reservatório ( $V_T = 235L$ ), a temperatura de armazenamento ( $T_A = 60^\circ C$ ) e para a temperatura da água da rede ( $T_R = 15^\circ C$ ). Os valores da densidade da água ( $\rho_A$ ) e do calor a pressão constante para a água ( $C_P$ ) são 1 [kg/L] e 4186 [J/(kg·°C)], respectivamente.

Resta finalmente admitir o valor de tempo em segundos ( $\Delta t$ ) pretendido para o aquecimento do volume do reservatório, que poderá ser por exemplo de 3 horas, que equivale a 10800 segundos e aplicar a equação 38.

$$P_R = \frac{235 \cdot 1 \cdot 4186 \cdot (60 - 15)}{10800} = 4099 [W] \quad (39)$$

O valor da potência recomendada para esta situação seria de cerca de 4,1 [kW], sendo natural que a opção a tomar seja pela resistência standard mais próxima deste valor existente no mercado.

## 7.8. Definir o funcionamento do ECU

O ECU (Electronic Control Unit) neste projecto serve para controlar a bomba de circulação da água do colector solar e as resistências de aquecimento, conforme as temperaturas em alguns pontos do sistema.

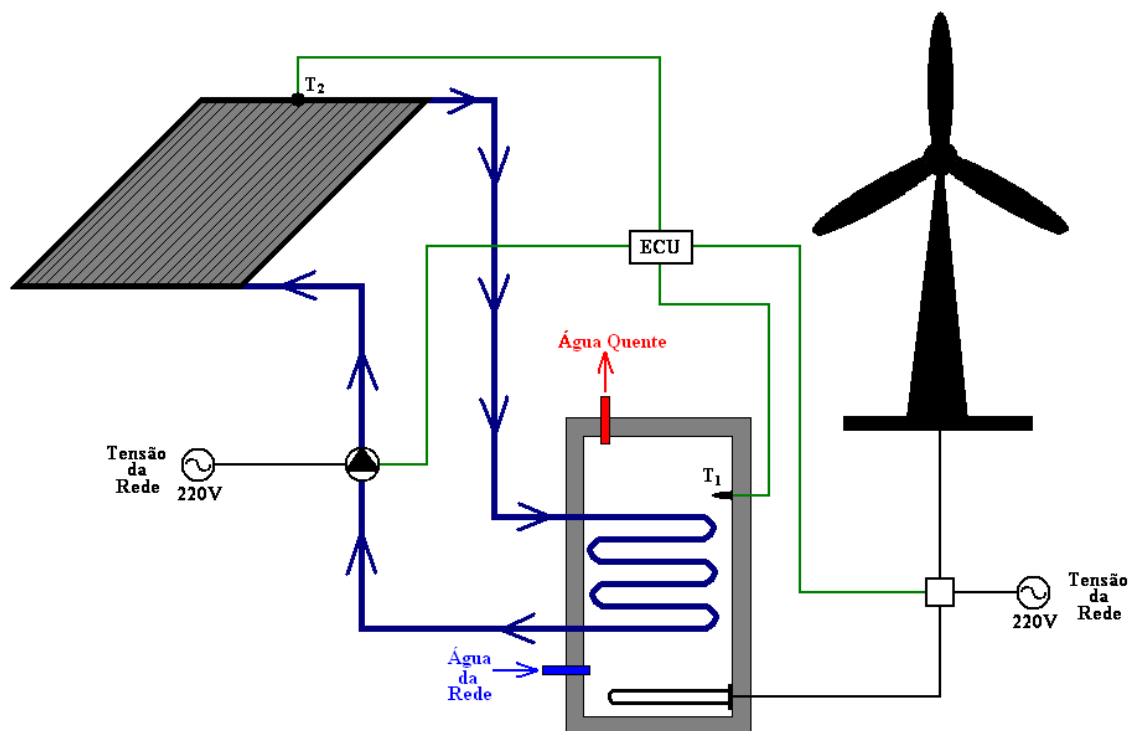


Figura 77 : Sistema híbrido de aquecimento de água

### 7.8.1. Controlo da bomba de circulação

A bomba de circulação é activada sempre que a temperatura do fluido no interior do colector solar ( $T_2$  na figura 77) for  $10^\circ\text{C}$  superior à temperatura da água armazenada no reservatório ( $T_1$  na figura 77) e desactivada sempre que a temperatura do fluido no colector for igual ou inferior à temperatura da água armazenada.

### 7.8.2. Controlo das resistências de aquecimento

A resistência da turbina eólica está sempre activada, excepto quando a temperatura da água de armazenamento for superior à temperatura máxima de segurança.

A resistência auxiliar está ligada à tensão da rede eléctrica e é activada quando a temperatura da água de armazenamento for inferior a  $40^\circ\text{C}$  e desactivada quando a temperatura chegar aos  $60^\circ\text{C}$ .

## 8. Análise Financeira

A análise financeira é feita através da estimativa do investimento que deverá ser feito na aquisição e instalação do equipamento, bem como os ganhos anuais resultantes do aproveitamento da energia solar e eólica.

O balanço ponderado entre o investimento e os ganhos anuais resultantes do aproveitamento da energia solar e eólica, permite calcular o tempo necessário para se recuperar o investimento efectuado.

### 8.1. Investimento

O investimento a ser feito tem três componentes cujo preço depende do dimensionamento dos mesmos, que são a turbina eólica, o colector solar e o reservatório térmico.

Existe ainda outros custos como o ECU, tubagens, resistências, bomba de circulação caso esta não esteja incluída no pacote de aquisição do colector solar e a instalação do equipamento. Estes custos que se pode chamar de fixos, entrarão no cálculo do investimento todos somados com um valor aproximado.

Para estimar o custo da turbina eólica ( $C_E$ ) deve saber-se o custo específico aproximado de turbinas desse tipo [ $\text{€/kW}$ ] ( $C_{EE}$ ) e depois multiplicar pela potência ( $P$ ) calculada anteriormente da turbina necessária, como na equação 40.

$$C_E = C_{EE} \cdot P \text{ [€]} \quad (40)$$

No que diz respeito ao colector solar o procedimento é semelhante, no entanto com base na área, ou seja, deve saber-se o custo aproximado do colector solar por metro quadrado ( $C_{SE}$ ) e depois multiplicar pela área de colectores solares calculada anteriormente ( $A_C$ ) e assim determinar o custo dos colectores solares ( $C_S$ ) aplicando a equação (41).

$$C_S = C_{SE} \cdot A_C \text{ [€]} \quad (41)$$

A estimativa do custo do reservatório térmico ( $C_R$ ), é feita com base no custo aproximado do reservatório por cada litro ( $C_{RE}$ ) e no volume em litros do reservatório ( $V_T$ ), através da equação (42).

$$C_R = C_{RE} \cdot V_T \text{ [€]} \quad (42)$$

Existe ainda uma componente aqui chamada de custos fixos ( $C_F$ ), que engloba os restantes custos associados ao sistema, como por exemplo, a bomba de circulação (caso não esteja incluído no colector solar), as resistências de aquecimento, o ECU, tubagens, instalação e outros quaisquer custos.

Finalmente basta somar todos os custos e subtrair possíveis incentivos fiscais ( $I$ ), por exemplo, o colector solar é subsidiado em 30% num máximo de 700€ [3,22].

$$C_T = C_E + C_S + C_R + C_F - I \text{ [€]} \quad (43)$$

## 8.2. Ganhos Anuais

Para o cálculo dos ganhos anuais devido à implementação deste sistema que tira partido das energias renováveis, é preciso primeiro saber a energia por ele produzida.

Na primeira fase de modo a calcular a energia produzida pela turbina eólica anualmente, deve obter-se a velocidade média mensal do vento em cada mês do ano e corrigi-la em relação à altura de instalação da turbina com base na equação (22). De seguida deverá ser calculada a energia produzida pela turbina em cada um dos 12 meses ( $E_{me\_1}, \dots, E_{me\_12}$ ) com base nas seguintes equações, em função da velocidade média mensal do vento corrigida ( $v_{m\_i}$ ).

- Para  $v_{m\_i}$  no intervalo  $[0;5[$ , tem-se:

$$E_{me\_i} = \frac{P \cdot 1,6 \cdot 24 \cdot n_{dm} \cdot v_{m\_i}^3}{(0,85 \cdot v_n)^3} [Wh] \quad (44)$$

- Para  $v_{m\_i}$  no intervalo  $[5;8[$ , tem-se:

$$E_{me\_i} = \frac{P \cdot 8 \cdot 24 \cdot n_{dm} \cdot v_{m\_i}^2}{(0,85 \cdot v_n)^3} [Wh] \quad (45)$$

- Para  $v_{m\_i}$  no intervalo  $[8;v_n[$ , tem-se:

$$E_{me\_i} = \frac{P \cdot 64 \cdot 24 \cdot n_{dm} \cdot v_{m\_i}}{(0,85 \cdot v_n)^3} [Wh] \quad (46)$$

- Para  $v_{m\_i} > v_n$ , tem-se:

$$E_{me\_i} = \frac{P \cdot 64 \cdot 24 \cdot n_{dm} \cdot v_n}{(0,85 \cdot v_n)^3} [Wh] \quad (47)$$

A variável “ $n_{dm}$ ” diz respeito ao número de dias do mês que se estiver a fazer o cálculo.

À semelhança do efectuado para a turbina eólica, deverá ser calculada agora a energia produzida pelo colector solar em cada mês ( $E_{ms\_1}, \dots, E_{ms\_12}$ ), com base na seguinte equação.

$$E_{ms\_i} = E_{pm\_i} \cdot A_c \cdot \frac{\mu_c}{100} \quad (48)$$

Onde “ $E_{pm\_i}$ ” é a radiação energética solar recebida em cada mês para o qual se esteja a fazer o cálculo.

Após efectuado a cálculo da energia produzida com ambas as tecnologias, soma-se as duas em cada mês, de modo a obter o potencial de energia produzida em cada um dos meses ( $E_{\text{mensal}_1, \dots, E_{\text{mensal}_{12}}}$ ), como na seguinte equação.

$$E_{\text{mensal}_i} = E_{\text{me}_i} + E_{\text{ms}_i} \quad (49)$$

Já com a potencial energia produzida pelas duas tecnologias de aproveitamento de energia renovável, é necessário comparar mensalmente este potencial energia produzida com a energia que será realmente necessária ( $E_{\text{mes}_1, \dots, E_{\text{mes}_{12}}}$ ).

A energia que será necessária em cada mês, não é mais do que a soma da energia diária de aquecimento de águas sanitárias ( $E_{\text{dc}}$ ) vezes o número de dias do mês em causa ( $n_{\text{dm}}$ ), mais a energia mensal de aquecimento ambiente ( $E_{\text{aq}_i}$ ) do mesmo mês, segundo a equação (50).

$$E_{\text{mes}_i} = E_{\text{dc}} \cdot n_{\text{dm}} + E_{\text{aq}_i} \quad (50)$$

Da comparação entre a energia produzida e a energia necessária em cada mês sairá a menor das duas, que será a energia útil produzida em cada mês ( $E_{\text{prod}_i}$ ).

$$E_{\text{prod}_i} = \text{Min}(E_{\text{mensal}_i}, E_{\text{mes}_i}) \quad (51)$$

Após determinada a energia produzida em cada um dos 12 meses do ano, estas deveram ser somadas e multiplicadas por 0,90 que representa um factor de segurança dando uma margem de erro por defeito de 10% para compensar possíveis variações do vento ao longo dos dias de cada mês, de modo a determinar a energia produzida anualmente ( $E_{\text{panual}}$ ).

$$E_{\text{panual}} = \sum_{i=1}^{12} E_{\text{prod}_i} \cdot 0,90 \quad (52)$$

Com a energia produzida anualmente já calculada, convertida para kWh, basta agora multiplicar pelo custo de um kWh de energia térmica ( $C_k$ ), para obtermos o ganho anual ( $G_A$ ).

$$G_A = E_{\text{panual}} \cdot C_k \text{ [€]} \quad (53)$$

### 8.3. Retorno do Investimento

Para calcular o tempo de retorno do investimento actualizado em anos, é necessário ter calculado previamente o investimento a efectuar e os ganhos anuais, de modo a poder ser feito o balanço financeiro ao longo dos anos de utilização.

Para que o tempo de retorno do investimento seja actualizado, é necessário aplicar a taxa de actualização de capitais ( $d$ ), que é calculada com base na taxa de inflação média ( $Tx_{\text{inf}}$ ), e na taxa anual de remuneração de capital ( $Tx_{\text{DO}}$ ), e aplicando a equação (54).

$$d = \left(1 + \frac{Tx_{\text{inf}}}{100}\right) \times \left(1 + \frac{Tx_{\text{DO}}}{100}\right) - 1 \quad (54)$$



De modo a determinar o tempo de retorno do investimento actualizado com maior rigor, foi feito um somatório dos cashflow's, até este ser positivo, para determinar o índice  $t$ , na equação (55), que representa o tempo de retorno do investimento actualizado.

$$\sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+d)^t} \geq 0 \quad (55)$$

Onde:

$F_t$  → Cashflow anual

$d$  → Taxa de actualização de capitais

$t$  → Tempo em anos

O cashflow anual representa o balanço entre o investimento e os ganhos em cada ano, o que na prática significa que para  $t = 0$  o cashflow é igual ao negativo do investimento e para  $t > 0$  o cashflow é igual ao ganho anual.

Caso seja desejado obter o tempo de retorno do investimento simples, basta colocar a taxa de actualização de capitais igual a zero ( $d = 0$ ).

## 9. Desenvolvimento de um Software de Apoio ao Dimensionamento dos Componentes do Sistema Híbrido

Na fase final da tese aqui apresentada foi elaborado um software de apoio ao dimensionamento dos componentes chave do sistema híbrido aqui projectado.

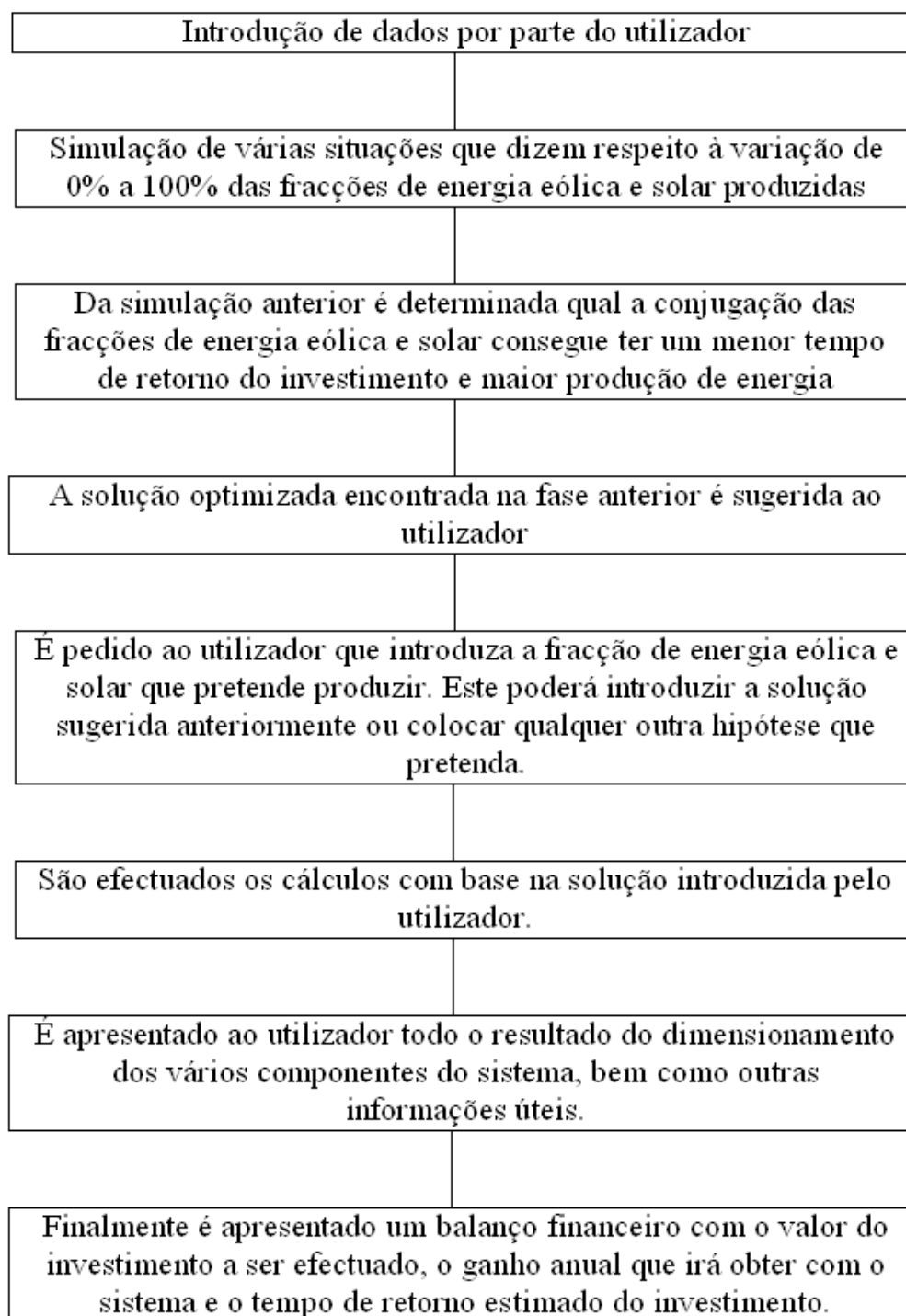
Este software é de fácil utilização e apresenta ao utilizador várias informações muito úteis no dimensionamento do sistema, com base nos parâmetros introduzidos pelo utilizador, que dispõe de uns ícones azuis com um “i”, onde ao carregar aparece uma ajuda ao preenchimento de cada dado introduzido.

O software dispõe de um mecanismo automático de optimização do sistema que através das condições introduzidas pelo utilizador calcula o tempo de retorno do investimento e a percentagem de energia produzida com base nas tecnologias de aproveitamento de energia renovável, para várias configurações do sistema relativamente à percentagem de energia eólica e solar que produzirá o sistema. Após efectuados estes cálculos o sistema detecta qual a solução que permite recuperar mais rapidamente o investimento efectuado e com maior percentagem de produção de energia de fonte renovável, informando assim o utilizador de qual será a opção optimizada para a percentagem a produzir com a energia eólica e solar. No entanto o software apenas informa o utilizador da solução optimizada, deixando a seu critério escolher a solução optimizada ou outra qualquer.

O programa para além do dimensionamento optimizado dos componentes chave do sistema, faz também uma análise financeira ao sistema.

Foi atribuído o nome de SWW-HEATER que significa Solar-Wind Water Heater ao software aqui apresentado e é a sua primeira versão, logo v1.0.

Na figura 78 está representado um fluxograma resumo representativo do funcionamento do software.



**Figura 78 :** Fluxograma alusivo ao funcionamento do sistema

Na figura 79 está a imagem da página inicial do software, onde está identificado o autor, a versão do software e o nome, a data de lançamento, uma imagem alusiva ao funcionamento do sistema abordado, um botão para sair do software e outro botão para iniciar o software.

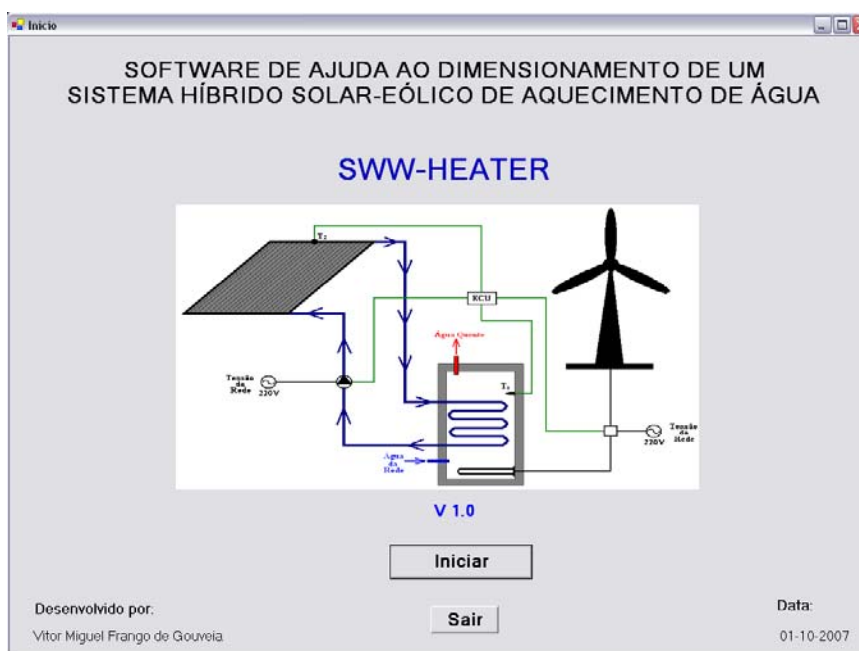


Figura 79 : Página de apresentação do software

Ao clicar iniciar na primeira página, abre-se a segunda página que é onde serão introduzidos os dados relativos ao dimensionamento do armazenamento térmico, como se pode observar na figura 80.

Existe um ícone azul com um “i” para cada dado a ser introduzido, onde o utilizador pode receber um auxílio no preenchimento do dado pedido.

Existem dois botões na parte inferior da página, um com a função de sair do programa e outro de continuar para a página seguinte.

Figura 80 : Página de dimensionamento do armazenamento térmico

Na terceira página, representada na figura 81, encontra-se a introdução de dados referente à carga de aquecimento ambiente mensal, dando a hipótese de introduzir no cálculo do armazenamento térmico a componente referente ao aquecimento ambiente.

Na parte inferior da janela existem três botões que permitem sair do programa, retroceder à página anterior ou continuar para a página seguinte.



Mês	Carga de Aquecimento Ambiente Mensal [kWh]
Janeiro	0
Fevereiro	0
Março	0
Abril	0
Maior	0
Junho	0
Julho	0
Agoito	0
Setembro	0
Outubro	0
Novembro	0
Dezembro	0

Selecconar em caso de pretender que seja incluído no armazenamento térmico a componente referente à carga de aquecimento.

☐

Sair Retroceder Continuar

SWW-Heater v1.0 Vitor Gouveia

Figura 81 : Página de introdução da carga de aquecimento ambiente mensal

Na continuação do software está a quarta página onde se introduzirá dados relativos à determinação da energia de aquecimento e ao dimensionamento da resistência auxiliar, como se pode observar na figura 82.



Densidade do fluido a aquecer: 1 [kg/L]

Calor específico do fluido a pressão constante (Cp): 4186 [J/(kg °C)]

Coefficiente de segurança que permite compensar possíveis perdas térmicas e garantir uma margem de segurança na produção de energia: 1,2

**Dimensionamento da Resistência de Aquecimento Auxiliar**

Tempo necessário em segundos para que a resistência auxiliar aqueça todo o volume do reservatório desde a temperatura da rede até à temperatura de armazenamento: 10800 [segundos]

Sair Retroceder Continuar

SWW-Heater v1.0 Vitor Gouveia

Figura 82 : Página de determinação da energia de aquecimento e dimensionamento da resistência auxiliar

A quinta página pede a introdução de dados relativos ao dimensionamento da turbina eólica e do colector solar, como se pode observar na figura 83.



**Dados Dimensionamento**

**Dimensionamento da Turbina Eólica**

Altura ao solo a que foi medida a velocidade do vento.  [m]

Altura ao solo a que será instalada a turbina.  [m]

Coefficiente dependente da rugosidade da superfície.

Velocidade do vento nominal da turbina eólica.  [m/s]

**Dimensionamento do Colector Solar**

Rendimento global do colector solar.  [%]

SWW-Heater v1.0 Vitor Gouveia

**Figura 83** : Página de dimensionamento da turbina eólica e do colector solar

A sexta página diz respeito à introdução das velocidades médias mensais e à radiação solar recebida mensalmente, como se pode observar na figura 84.



**Dados Meteorológicos**

	Velocidade média mensal do vento [m/s]	Radiação solar recebida mensalmente [kWh/m <sup>2</sup> ]
Janeiro	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="30"/>
Fevereiro	<input type="text" value="5,3"/>	<input type="text" value="60"/>
Março	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="90"/>
Abril	<input type="text" value="4,5"/>	<input type="text" value="100"/>
Maió	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="110"/>
Junho	<input type="text" value="3,5"/>	<input type="text" value="130"/>
Julho	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="180"/>
Agosto	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="200"/>
Setembro	<input type="text" value="3,5"/>	<input type="text" value="180"/>
Outubro	<input type="text" value="4,5"/>	<input type="text" value="130"/>
Novembro	<input type="text" value="5,5"/>	<input type="text" value="90"/>
Dezembro	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="30"/>

SWW-Heater v1.0 Vitor Gouveia

**Figura 84** : Página de introdução das velocidades médias mensais e da radiação solar recebida mensalmente

Na sétima página são requeridos dados relativos ao investimento que deverá ser feito para a aquisição e montagem do sistema, como se pode observar na figura 85.



**Figura 85 :** Página de dados relativos ao investimento a efectuar

A oitava página pede ao utilizador para introduzir dados referentes ao cálculo dos ganhos anuais e das taxas aplicáveis, como se pode observar na figura 86.



**Figura 86 :** Página de dados relativos ao ganho anual e às taxas aplicáveis

A nona página diz respeito à fracção de energias renováveis a utilizar e onde é pedido ao utilizador que introduza que fracção de energia pretende produzir com base na energia eólica e solar. Para a escolha o utilizador dispõe dos valores optimizados pelo software como sugestão, como se pode observar na figura 87.

Figura 87 : Página da fracção de produção com as energias renováveis, eólica e solar

Na décima página são apresentados os resultados dos cálculos de dimensionamento efectuados com base nos dados introduzidos pelo utilizador. Nesta página é facultada a informação relativa à energia necessária diariamente para garantir o aquecimento do volume de água utilizado num dia, a velocidade média do vento calculada à altura de instalação da turbina, a fracção estimada de energia produzida através das fontes renováveis, o volume total que deverá ter o armazenamento térmico, a potência da turbina eólica sugerida, a área de colectores solares sugerida e a potência recomendada para a resistência de aquecimento auxiliar, como podemos observar na figura 88.

Figura 88 : Página de apresentação dos cálculos efectuados do dimensionamento dos componentes



Na décima primeira página são apresentados os cálculos relativos ao balanço financeiro do sistema, onde informa o utilizador do investimento estimado que será necessário efectuar para o sistema, uma estimativa do ganho anual relativamente a outra determinada fonte de energia, da taxa de actualização de capitais e finalmente do tempo de retorno do investimento efectuado e a partir do qual o sistema começará a dar lucro.



**Figura 89 :** Página de apresentação do balanço financeiro calculado

Finalmente a décima segunda página é activada sempre que em qualquer outra das páginas se carrega no botão sair e apresenta uma mensagem de apelo à utilização racional de energia, uma imagem indicativa de que devemos cuidar do planeta terra, o nome e versão do software, o nome do autor, a data de lançamento e um botão que permite fechar a janela e encerrar completamente o software.



**Figura 90 :** Página final do software

## 10. Casos de Estudo

Foram efectuados dez casos de estudo em cinco localizações diferentes, sendo que em cada localização foram simuladas duas situações, uma sem aquecimento ambiente e outra com aquecimento ambiente, com o intuito de elucidar a importância da localização, condições climáticas e cargas envolvidas.

De modo a poder elaborar comparação entre os vários casos, foram admitidas com igual valor alguns dados, como por exemplo o consumo admitido por pessoa diariamente, a temperatura de consumo da água, a temperatura de armazenamento, bem como uma série de outros parâmetros relacionados com rendimentos, taxas e custos específicos, etc.

Nos casos de estudo em que foram simuladas situações que englobavam o aquecimento ambiente, foi necessário ir mais além e calcular as necessidades energéticas de aquecimento de uma moradia imaginária com 200m<sup>2</sup> de área, e factor de forma (FF) igual a 1, onde o factor de forma é a razão entre o somatório de todas as áreas da envolvente e o volume interior. Tanto a área como o factor de forma foram admitidos e constantes para todas as simulações.

Para calcular as necessidades energéticas em cada uma das localizações foi utilizada a seguinte equação:

$$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD \quad (56)$$

Onde os Graus-Dia (GD) foram obtidos com base no Diário da República – I Série-A, N.º 67 de 4 de Abril de 2006.

As localizações dos casos de estudo são as seguintes:

- Caso de Estudo 1 – Porto / Serra do Pilar
- Caso de Estudo 2 – Leiria
- Caso de Estudo 3 – Faro
- Caso de Estudo 4 – Lagoa / Açores
- Caso de Estudo 5 – Porto Santo

Na tabela seguinte estão apresentados os Graus-Dia, bem como os meses de aquecimento e as necessidades de aquecimento específicas anuais de cada uma das localizações.

**Tabela 6 :** Necessidades de aquecimento específicas anuais das localizações em causa

Necessidades de Aquecimento Específicas Anuais			
Localização	Graus-Dia (GD)	Meses de Aquecimento	N <sub>i</sub> (kWh/(m <sup>2</sup> *ano))
Porto - Serra do Pilar	1610	7	97,88
Leiria	1610	6	97,88
Faro	1060	5	65,98
Açores - Lagoa	950	4	59,6
Porto Santo	290	2	21,32

De seguida na tabela 7 são apresentadas as necessidades de aquecimento mensais em cada localização, com base no número de meses de aquecimento retirado do Diário da República – I Série-A, N.º 67 de 4 de Abril de 2006 e nas percentagens de distribuição admitidas das necessidades de aquecimentos pelos meses que necessitam aquecimento.

**Tabela 7 :** Necessidades de aquecimento mensais

<b>Necessidades de Aquecimento Mensais</b>										
	Porto-Serra do Pilar		Leiria		Faro		Açores - Lagoa		Porto Santo	
N.º Meses	7		6		5		4		2	
Meses	% AQ Anual	Ni (kWh/ano)	% AQ Anual	Ni (kWh/ano)	% AQ Anual	Ni (kWh/ano)	% AQ Anual	Ni (kWh/ano)	% AQ Anual	Ni (kWh/ano)
Outubro	5	979	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	10	1958	10	1958	10	1320	0	0	0	0
Dezembro	25	4894	30	5873	30	3959	35	4172	50	2132
Janeiro	25	4894	30	5873	30	3959	35	4172	50	2132
Fevereiro	20	3915	15	2936	15	1979	15	1788	0	0
Março	10	1958	10	1958	15	1979	15	1788	0	0
Abril	5	979	5	979	0	0	0	0	0	0

Para a execução das simulações nas várias localizações foram retirados os dados climatéricos da base de dados do software RetScreen International e encontram-se nas tabelas seguintes.

**Tabela 8 :** Caso de Estudo 1 – Porto / Serra do Pilar

<b>Caso de Estudo 1 - Porto / Serra do Pilar</b>				
Mês	Velocidade do Vento (m/s)	Radiação solar diária (kWh/m2/d)	Radiação solar mensal (kWh/m2/mês)	Nº Dias
Janeiro	5,7	1,7	52,7	31
Fevereiro	5,7	2,68	75,04	28
Março	5,6	4,22	130,82	31
Abril	5,3	5,63	168,9	30
Maio	5	6,46	200,26	31
Junho	4,4	7,01	210,3	30
Julho	4,3	7,33	227,23	31
Agosto	4,3	6,45	199,95	31
Setembro	4,2	4,73	141,9	30
Outubro	4,5	3,41	105,71	31
Novembro	5	2,29	68,7	30
Dezembro	5,7	1,99	61,69	31
<b>Total</b>	<b>4,98</b>	<b>4,49</b>	<b>1643,2</b>	<b>365</b>

**Tabela 9 :** Caso de Estudo 2 – Leiria

Caso de Estudo 2 - Leiria				
Mês	Velocidade do Vento (m/s)	Radiação solar diária (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Radiação solar mensal (kWh/m <sup>2</sup> /mês)	Nº Dias
Janeiro	4,9	1,91	59,21	31
Fevereiro	5,2	2,74	76,72	28
Março	5,1	4,05	125,55	31
Abril	5	5,09	152,7	30
Maio	4,7	5,82	180,42	31
Junho	4,4	6,58	197,4	30
Julho	4,5	6,59	204,29	31
Agosto	4,5	6,02	186,62	31
Setembro	4,1	4,65	139,5	30
Outubro	4,3	3,14	97,34	31
Novembro	4,7	2,06	61,8	30
Dezembro	5,1	1,62	50,22	31
<b>Total</b>	<b>4,71</b>	<b>4,19</b>	<b>1531,77</b>	<b>365</b>

**Tabela 10 :** Caso de Estudo 3 – Faro

Caso de Estudo 3 - Faro				
Mês	Velocidade do Vento (m/s)	Radiação solar diária (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Radiação solar mensal (kWh/m <sup>2</sup> /mês)	Nº Dias
Janeiro	3,6	2,22	68,82	31
Fevereiro	4	3,12	87,36	28
Março	3,9	4,36	135,16	31
Abril	4,1	5,71	171,3	30
Maio	4	7,22	223,82	31
Junho	3,8	7,6	228	30
Julho	3,6	7,69	238,39	31
Agosto	3,3	6,8	210,8	31
Setembro	3,3	5,51	165,3	30
Outubro	3,4	3,98	123,38	31
Novembro	3,4	2,71	81,3	30
Dezembro	3,6	2,31	71,61	31
<b>Total</b>	<b>3,67</b>	<b>4,94</b>	<b>1805,24</b>	<b>365</b>

**Tabela 11 :** Caso de Estudo 4 – Lagoa / Açores

<b>Caso de Estudo 4 - Açores / Lagoa</b>				
Mês	Velocidade do Vento (m/s)	Radiação solar diária (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Radiação solar mensal (kWh/m <sup>2</sup> /mês)	Nº Dias
Janeiro	8,1	1,96	60,76	31
Fevereiro	7,8	2,76	77,28	28
Março	7,3	3,97	123,07	31
Abril	6,6	5,16	154,8	30
Mai	5,9	6,02	186,62	31
Junho	4,9	6,53	195,9	30
Julho	4,1	6,76	209,56	31
Agosto	4,3	6,17	191,27	31
Setembro	5,4	4,84	145,2	30
Outubro	6,3	3,17	98,27	31
Novembro	7,6	2,15	64,5	30
Dezembro	8	1,7	52,7	31
<b>Total</b>	<b>6,36</b>	<b>4,27</b>	<b>1559,93</b>	<b>365</b>

**Tabela 12 :** Caso de Estudo 5 – Porto Santo

<b>Caso de Estudo 5 - Porto Santo</b>				
Mês	Velocidade do Vento (m/s)	Radiação solar diária (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Radiação solar mensal (kWh/m <sup>2</sup> /mês)	Nº Dias
Janeiro	5,1	2,67	82,77	31
Fevereiro	5,7	3,33	93,24	28
Março	5,1	4,72	146,32	31
Abril	5,7	5,53	165,9	30
Mai	5,1	6,53	202,43	31
Junho	5,1	6,81	204,3	30
Julho	5,7	6,72	208,32	31
Agosto	4,6	5,94	184,14	31
Setembro	4,6	5,22	156,6	30
Outubro	4,6	3,92	121,52	31
Novembro	4,6	2,83	84,9	30
Dezembro	5,1	2,33	72,23	31
<b>Total</b>	<b>5,08</b>	<b>4,71</b>	<b>1722,67</b>	<b>365</b>

Finalmente na tabela 13, estão apresentados os dados de entrada admitidos para a simulação dos casos, bem como os resultados obtidos em cada um dos casos simulados.

**Tabela 13 :** Tabela resumo dos casos de estudo

CASOS DE ESTUDO						
		Porto - Serra do Pilar	Leiria	Algarve - Faro	Açores - Lagoa	Porto Santo
DADOS DE ENTRADA	Consumo admitido por pessoa, por dia (L)	80				
	Temperatura da água consumida (°C)	40				
	Temperatura de armazenamento da água (°C)	60				
	Dias de reserva de água quente	1				
	Número de pessoas que habitam a casa	3	4	5	6	5
	Altura de instalação da turbina (m)	10	14	10	10	10
	Custo específico da turbina (€/kW)	800				
	Custo específico do colector solar (€/m <sup>2</sup> )	300				
	Custo específico de reservatório térmico (€/L)	2,5				
	Valor admitido para restantes despesas (€)	1000				
DADOS DE SAÍDA (Sem Aquecimento)	Potência da turbina (W)	1.019	1.320	0	1.552	810
	Área de colector solar (m <sup>2</sup> )	2,23	3,19	5,64	3,92	4,73
	Reservatório térmico (L)	160	213	267	320	267
	Fracção de energia necessária produzida através das energias renováveis (%)	80,7	80,0	73,4	87,2	78,8
	Custo do investimento (€)	2.885	3.547	3.359	4.217	3.733
	Retorno anual (€)	326	430	494	703	530
	Tempo de retorno (anos)	12	11	9	8	9
DADOS DE SAÍDA (Com Aquecimento)	Potência da turbina (W)	13.285	20.092	0	10.372	812
	Área de colector solar (m <sup>2</sup> )	12,93	3,6	23,19	0	10,67
	Reservatório térmico (L)	160	213	267	320	267
	Fracção de energia necessária produzida através das energias renováveis (%)	45,7	47,5	35,0	59,9	46,1
	Custo do investimento (€)	15.905	18.686	8.623	10.097	5.516
	Retorno anual (€)	1.603	1.730	967	1.613	621
	Tempo de retorno (anos)	14	16	13	8	12



## 11. Conclusão

Este trabalho foi desenvolvido com o objectivo de projectar e verificar a viabilidade de um sistema capaz de tirar partido da energia solar térmica e da energia eólica para aquecimento de água.

Embora no desenvolvimento do projecto seja dado sempre maior enfoque à utilização doméstica, este sistema pode aplicar-se em muitas outras situações.

A utilização doméstica pode vir a ser o grande mercado deste tipo de sistemas, por várias razões, entre as quais a nova legislação que obriga os novos edifícios a utilizarem uma percentagem da sua energia de fonte renovável. Outro aspecto a favor deste sistema é que em média 50% ou mais da energia utilizada no sector doméstico é para o aquecimento de águas sanitárias e ou climatização, o que representa uma factura anual elevada [4].

A dependência do petróleo é cada vez mais preocupante devido à sua prevista escassez e instabilidade de preços, o que é um forte incentivo na procura de fontes de energia alternativa ao petróleo e com manifesta preferência pela utilização de energias renováveis, até por uma questão ambiental.

Há relativamente poucos anos atrás as poucas pessoas que disponham de aproveitamento de energias renováveis em suas casas, era por uma questão de imagem social, dar a imagem de preocupação com o meio ambiente, visto que economicamente não era viável devido ao baixo preço dos produtos petrolíferos e aos elevados preços das tecnologias de aproveitamento de energias renováveis. Hoje em dia as coisas começam a mudar, porque os preços dos derivados do petróleo sobem constantemente e em contrapartida, com a maior procura pela tecnologia de aproveitamento de energia renovável e o seu maior desenvolvimento tecnológico, torna as soluções amigas do ambiente também cada vez mais viáveis economicamente, ou seja, para além da aplicação destas tecnologias serem amigas do ambiente ainda são um bom negócio em termos financeiros.

Na primeira fase deste trabalho foi feita uma pesquisa sobre o estado da arte da energia eólica e da energia solar térmica, da qual posso concluir que a energia eólica já apresenta um bom estado de desenvolvimento e aplicação na produção em massa, ou seja, em grandes parques eólicos e com tendências a crescer substancialmente num futuro próximo. Porém esta tecnologia está ainda muito pouco explorada na produção descentralizada, em pequena escala, nomeadamente no sector doméstico e em edifícios em geral. Outro aspecto relevante em relação ainda à energia eólica é o grande desenvolvimento feito a nível de turbinas eólicas de eixo horizontal e o esquecimento das turbinas de eixo vertical, as quais apresentam um estado de desenvolvimento muito baixo e preços demasiado elevados, situação esta que poderá ser superada com um investimento no desenvolvimento destas máquinas e na produção em massa.

Na energia solar térmica, verifica-se que esta apresenta um bom nível de desenvolvimento e preços muito competitivos, arriscando-me a dizer que neste momento é a energia renovável que apresenta menor custo de aquisição e exploração. É também a energia renovável mais utilizada no sector doméstico e edifícios, já com um nível de exploração razoável, embora com grande potencial de crescimento e numa fase em que se prevê uma explosão total neste sector, muito devido à nova regulamentação dos edifícios.

Do estudo aqui desenvolvido sobre o sistema híbrido eólico-solar de aquecimento de água, pode concluir-se que é um sistema viável economicamente, que se paga a si próprio na maior parte dos casos entre 8 e 15 anos, dependendo da configuração, da situação e da própria localização geográfica e adjacente abundância dos recursos utilizados, nomeadamente o sol e o vento.

Na escolha da fracção de energia produzida através de energia solar e energia eólica, deverá ser ponderado qual o recurso mais abundante na zona em questão, para aplicar uma maior percentagem de produção a essa energia. O utilizador dispõe de um sistema de optimização por parte do software que sugere quais as fracções optimizadas com base nas condições introduzidas pelo utilizador.



Em relação ao software desenvolvido, este permite efectuar simulações de diversas situações e com várias configurações, de modo a auxiliar na escolha da solução mais eficiente e viável para cada caso. O software é de fácil utilização e apresenta ajudas ao preenchimento de todos os espaços onde são pedidos dados ao utilizador.

Dos casos de estudo efectuados pode avaliar-se o impacto que têm na rentabilidade do sistema, o facto da localização dispor de bons recursos a nível de vento e sol, bem como a intensidade das necessidades energéticas.

No primeiro caso de estudo, no Porto – Serra do Pilar, sem aquecimento ambiente, pode verificar-se que devido a uma boa disponibilidade de vento e disponibilidade solar razoável, faz-se uma distribuição repartida quase que por igual pelas duas fontes de energia na produção de água quente, tendo um retorno do investimento de cerca de 12 anos, que é considerado bom. Quando se aplica a carga de aquecimento ambiente a este caso, a situação mantém-se semelhante, repartindo pelas duas fontes em partes semelhantes a produção de água quente e aumentando o tempo de retorno para 14 anos, que não deixa de ser bom.

Nos casos de estudo localizados em Leiria, passa-se uma situação semelhante quando não está incluído o aquecimento ambiente, obtendo um tempo de retorno do investimento de 11 anos. Já quando se adiciona o aquecimento ambiente a situação altera-se, e devido à escassez de energia solar nos meses que necessitam de aquecimento e à maior disponibilidade de energia eólica nestes mesmos meses, é proposta uma aposta muito mais forte na energia eólica em detrimento da energia solar, e tendo como resultado um tempo de retorno do investimento de 16 anos, que não sendo excelente, ainda assim é aceitável.

Nas situações simuladas em Faro – Algarve, acontece o esperado, visto que nesta localização a disponibilidade de vento é muito baixa em contraste com a boa disponibilidade solar, sendo proposto a utilização de energia eólica apenas, em ambas as situações, com ou sem aquecimento ambiente. Os tempos de retorno do investimento são de 9 anos e 13 anos, relativamente a sem aquecimento ambiente e com aquecimento ambiente, respectivamente, que são considerados em ambos os casos boas opções.

Em Lagoa – Açores passa-se uma situação semelhante à que acontece em Leiria, ou seja, no primeiro caso em que não temos aquecimento ambiente, a produção de água quente é repartida pelas duas fontes de energia, devido à boa disponibilidade de ambas, com consequência num excelente tempo de retorno do investimento de apenas 8 anos. Já quando se adiciona o aquecimento ambiente, devido à excelente disponibilidade de vento principalmente nos meses em que é necessário aquecimento e onde a energia solar é escassa, é sugerida a utilização apenas de energia eólica, que tem neste caso um excelente desempenho, contribuindo para o tempo de retorno do investimento de apenas 8 anos.

Finalmente na situação simulada na Ilha do Porto Santo, apesar desta dispor de boa disponibilidade eólica, é suplantado pela excelente exposição solar que esta Ilha goza, fazendo com que seja proposto uma maior fracção de produção de energia através da energia solar, ainda assim com uma pequena produção através da energia eólica e contribuindo para o bom tempo de retorno do investimento de apenas 9 anos. Quando se aplica o aquecimento ambiente, a situação mantém-se quase inalterada, muito devido ao clima desta Ilha que tem necessidades de aquecimento ambiente muito reduzidas. O tempo de retorno para esta situação é de 12 anos.

Resumidamente pode concluir-se que o facto de se adicionar o aquecimento ambiente irá na maior parte dos casos aumentar o tempo de retorno do investimento, devido à sazonalidade das necessidades de aquecimento, que contrastam com a sazonalidade inversa da disponibilidade solar, diminuindo assim o rendimento do sistema, mesmo que nos casos aqui simulados o aumento do tempo de retorno do investimento não seja muito elevado, continuando o sistema a ser viável economicamente.

Para finalizar fica a percepção de que este sistema é tanto mais eficiente, quanto melhor se adaptarem as condições climáticas, ou seja, este sistema torna-se muito eficiente em locais em que a disponibilidade do vento é maior nas alturas em que a disponibilidade de energia solar é menor, compensando-se assim uma à outra de forma perfeita.

## Referências

- [1] Aproveitamento de Energia Eólica, Ricardo Ferreira e Breno Moreira da Costa Leite. Consultado a 16-12-2006, <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/eolica/eolica.htm>
- [2] The Ecodesign Toolbox - Project Outline, Motivation on a Toolbox and Results from Phase 1, Leonardo ENERGY. Consultado a 06-01-2007, <http://www.leonardo-energy.org/drupal/files/CARE%2001.pdf?download>
- [3] ENERGAIA - Agência Municipal da Energia de Gaia. Consultado a 12-12-2006, [www.energaia.pt](http://www.energaia.pt)
- [4] Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico, ADENE. Consultado a 06-02-2007, <http://www.energiasrenovaveis.com/docs/domestico.pdf>
- [5] O. V. Marchenko and S. V. Solomin, Efficiency of wind energy utilization for electricity and heat supply in northern regions of Russia, Renewable Energy, Volume 29, Issue 11, September 2004, Pages 1793-1809. Consultado a 26-01-2006, <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V4S-4C2R1JJ-2/2/b204e3568acad00818d699c737097be4>
- [6] Energia Eólica - limpa, abundante e inesgotável. Consultado a 12-12-2006, <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=2431&iLingua=1>
- [7] La Energía Eólica, SOLARco. Consultado a 07-12-2006, <http://www.solarco.cl/eolica2.htm>
- [8] Energia Eólica - Princípios e Aplicações. Consultado a 14-12-2006, <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/eolica/apstenergieolica.htm>
- [9] Wind & Wind Power, Wind Energy Manual. Consultado a 17-12-2006, [http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-08\\_power.html](http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-08_power.html)
- [10] Micro-Turbinas Eólicas, Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos. Consultado a 17-12-2006, <http://www.energiasrenovaveis.com/docs/MicroEolicas.pdf>
- [11] Wind Energy Systems, Wind Energy Manual. Consultado a 19-12-2006, [http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-07\\_systems.html](http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-07_systems.html)
- [12] Geração Eólica, Fontes de Energia Renováveis, Marcele Barros e Verónica Varella. Consultado a 07-12-2006, [http://www.solar.coppe.ufrj.br/eolica/eol\\_txt.htm](http://www.solar.coppe.ufrj.br/eolica/eol_txt.htm)
- [13] A.S. Bahaj, L. Myers and P.A.B. James, Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings, Energy and Buildings, Volume 39, Issue 2, February 2007, Pages 154-165. Consultado a 08-01-2007, <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2V-4KD5BVR-1/2/f2c1477088465feef0312002b6336d2a>
- [14] Jan Bloem, KEMA Consulting, Power Quality and Utilisation Guide, Section 8 - Distributed Generation, Integration & Interconnection, Leonardo ENERGY. Consultado a 09-01-2007, <http://www.leonardo-energy.org/drupal/files/2006/Integration.pdf?download>
- [15] Prof. João Nildo de Souza Vianna, Capítulo 3.2 - Eólica, Geotérmica, Ondas e Marés, ENERGIA E O MEIO AMBIENTE. Consultado a 07-02-2007, [http://200.130.0.16/jnildo2/arquivos/170706\\_E8EB24FD.pdf](http://200.130.0.16/jnildo2/arquivos/170706_E8EB24FD.pdf)
- [16] Hongxing Yang, Lin Lu and Wei Zhou, A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system, Solar Energy, Volume 81, Issue 1, January 2007, Pages 76-84. Consultado a 11-01-2007, <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V50-4KR3H6R-9/2/72cb1dad1eff909f8da37c02137874d4>

- [17] Teresa Maria Veloso Nunes Simões Esteves, Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal - Metodologia e Desenvolvimento. Consultado a 02-02-2007, [http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/tese\\_teresa\\_simoes.pdf](http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/tese_teresa_simoes.pdf)
- [18] Taller de Construcción de una Picoturbina, Concurso Anual de Juguetes, Aparatos y Experimentos, Universidad Nacional de Colômbia - Sede Medellín. Consultado a 07-02-2007, <http://www.unalmed.edu.co/~aprenda/concurso/hagalo.html>
- [19] Mazharul Islam, David S.-K. Ting and Amir Fartaj, Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, In Press, Uncorrected Proof, , Available online 28 December 2006. Consultado a 07-01-2007, <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VMY-4MP0577-4/2/f461096d5a0e2b9f4c28132eae3a7d3a>
- [20] Máquina Síncrona, Wikipédia. Consultado a 20-09-2007, [http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina\\_s%C3%ADncrona](http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_s%C3%ADncrona)
- [21] Energia Eólica, Cláudio Monteiro (10/08/96). Consultado a 13-12-2006, <http://power.inescn.pt/claudio/eolica.html#10>
- [22] Energias renováveis, Poupe Energia e Dinheiro - Produza a sua energia, Energaia. Consultado a 24-01-2007, <http://www.energaia.pt/poupe/energia.php>
- [23] Integrando as energias renováveis em sua casa, EDP. Consultado a 24-01-2007, <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Sustainability/EnergyEfficiency/HowToSave/NewHome/default.htm>
- [24] S. Oerlemansa,\_, P. Sijtsmaa, B. Me´ ndez Lo´ pez, Location and quantification of noise sources on a wind turbine, JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, Available online 4 October 2006. Consultado a 07-01-2007, [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MImg&\\_imagekey=B6WM3-4M1TT0T-5-1&\\_cdi=6923&\\_user=2459663&\\_orig=search&\\_coverDate=02%2F06%2F2007&\\_sk=997009995&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkzS&md5=6c61c1e2ae4a5a9bb3306649e142824a&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6WM3-4M1TT0T-5-1&_cdi=6923&_user=2459663&_orig=search&_coverDate=02%2F06%2F2007&_sk=997009995&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkzS&md5=6c61c1e2ae4a5a9bb3306649e142824a&ie=/sdarticle.pdf)
- [25] Wind turbines noise and vibration, better generation. Consultado a 11-05-2007, <http://www.bettergeneration.co.uk/wind-turbines/wind-turbines-noise-and-vibration.html>
- [26] Low Frequency Noise and Wind Turbines, BWEA Briefing Sheet. Consultado a 11-05-2007, [http://www.bwea.com/pdf/briefings/lfn\\_summary.pdf](http://www.bwea.com/pdf/briefings/lfn_summary.pdf)
- [27] BRIEF - On The Dangers of Ice & Structural Failure at the Proposed Wachusett Reservation Windfarm. Consultado a 24-02-2007, <http://www.princetonwindfarm.com/Wachusett%20Mountain%20Wind%20Farm%20Danger%20Brief.pdf>
- [28] Paul Vigansky e Jacques Chiron, Equipamento aquece água com energia do vento, da redação 11/10/2006, Inovação Tecnológica. Consultado a 24-01-2007, <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115061011>
- [29] A Energia Solar, EletroMec On Line. Consultado a 29-01-2007, <http://m.albernaz.sites.uol.com.br/energiasolar.htm#3>
- [30] Prof. João Nildo de Souza Vianna - Programa de Pós-Graduação CDS-UnB, Capítulo 3 - Formas de Energia, Energia e o Meio Ambiente. Consultado a 29-01-2007, [http://200.130.0.16/jnildo2/arquivos/170706\\_7C3B6C0B.pdf](http://200.130.0.16/jnildo2/arquivos/170706_7C3B6C0B.pdf)
- [31] Colectores Solares. Consultado a 05-02-2007, [http://alfa.ist.utl.pt/~lroriz/MyPage/et\\_T25.htm](http://alfa.ist.utl.pt/~lroriz/MyPage/et_T25.htm)
- [32] Tubos Vácuo - Energia Solar, enat - Energias Renováveis. Consultado a 01-02-2007, <http://www.enat.pt/energia-tubosvacuo.php>
- [33] Solar Térmico, Sistemas Eficientes, Ra+ Soluções Térmicas. Consultado a 29-01-2007, <http://www.raplus.pt/termico.htm>
- [34] Guia da Energia Solar, Concurso Solar - Padre Himalaya. Consultado a 31-01-2007,

[http://www.abae.pt/jra/sem04-05/spes\\_davidloureiro.pdf](http://www.abae.pt/jra/sem04-05/spes_davidloureiro.pdf)

[35] Tecnologías, Energia Solar. Consultado a 31-01-2007,  
[http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/solar\\_tecnologias.asp#colector\\_solar](http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/solar_tecnologias.asp#colector_solar)

[36] Propriedades dos Tubos de Vácuo, VerdeSolar. Consultado a 31-01-2007,  
<http://verdesolar.com/technicalinfodetail.aspx>

[37] Distributed Generation and Renewables, Power Quality and Utilisation Guide, Leonardo ENERGY. Consultado a 04-01-2007,  
<http://www.leonardo-energy.org/drupal/files/2006/8.1%20Introduction-to-distributed-generation-and-renewables.pdf?download>

[38] Prof. Doutor Alfredo Costa Pereira, Cálculo do consumo de água quente sanitária em edifícios. Consultado a 08-03-07  
[www.dem.isep.ipp.pt/acp/PROJECTO%201/CÁLCULO%20DO%20CONSUMO%20DE%20ÁGUA%20QUENTE%20SANITÁRIA%20EM.ppt](http://www.dem.isep.ipp.pt/acp/PROJECTO%201/CÁLCULO%20DO%20CONSUMO%20DE%20ÁGUA%20QUENTE%20SANITÁRIA%20EM.ppt)